

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2014

Bc. Radim Štěrbá

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Regulace plynové pece

Gas Heating Regulation

2014

Bc. Radim Štěrbá

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Radim Štěrbá**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2601T004 Měřicí a řídicí technika
Téma: **Regulace plynové pece**
Gas Heating Regulation

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je analýza, návrh, implementace a dokumentace regulace plynové pece na základě požadavků zadávající firmy Ingeteam a.s. V souhrnu je práce charakterisována těmito body:

1. Rešerše metod regulace průmyslových plynových pecí.
2. Návrh regulace plynové pece.
3. Implementace řídicího programu v PLC Simatic S7-300.
4. Testování PLC programu pomocí simulace pece.
5. Vizualizace provozních veličin.
6. Uvedení do provozu a reálné testy.
7. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRUMBAUGH, James E. *Audel HVAC Fundamentals: Volume 2: Heating System Components, Gas and Oil Burners, and Automatic Controls (Audel Technical Trades Series)*. 4th ed. New York: Wiley Publishing Inc., 2004. ISBN 978-0-7645-4207-7.
- [2] PETRUZELLA, Frank D. *Programmable Logic Controllers*. 4th ed. New York, NY: McGraw-Hill Companies, c2011, xvii, 396 p. ISBN 978-0073510880.
- [3] ROUBAL, Jiří a Petr HUŠEK. *Regulační technika v příkladech - Moderní postupy pro běžnou praxi*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2011, xxii, 276, ii s. ISBN 978-80-7300-260-2.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014


doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.



Bc. Radim Štěrbá

V Ostravě, dne: 07. 05. 2014

Prohlášení zástupce spolupracující právnické osoby

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava.

.....
Zástupce firmy Ingeteam a.s.

V Ostravě, dne: 07. 05. 2014

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Janu Ribkovi za konzultace, velmi cenné rady při vývoji řídicího systému pro plynovou ohřívací pec. A také bych velmi rád touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Zdeňku Slaninovi Ph.D. za rady a připomínky, které souvisely s napsáním této diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce řeší návrh a implementaci regulace plynové pece. Teoretická část této práce seznamuje s problematikou plynových pecí, s problematikou řízení a regulací plynových pecí a také krátce popisuje programovatelné automaty (PLC). V praktické části práce je detailně popsán návrh a také implementace řídicího systému, který byl vytvořen pro PLC Siemens S7-300. Na kapitulu o implementaci řídicího systému navazuje kapitola popisující tvorbu simulační aplikace v programu WinMOD a testování navržených algoritmů regulace plynové pece. Další kapitoly popisují tvorbu vizualizační aplikace a také samotné uvádění řídicího systému do provozu. Vizualizační aplikace byla vytvořena ve vývojovém prostředí Promotic.

Klíčová slova:

Automatizace, Programovatelný logický automat, Vizualizace, Simulace, Plynová pec, Regulace, Simatic, Step 7, Promotic, WinMOD.

Abstract

Diploma thesis solves design and implementation of gas heating regulation. The theoretical part of this thesis introduces the problems of gas heating, the problems of control and regulation of gas heating and briefly describes the programmable logic controllers (PLC). In the practical part of the thesis is detailed design and implementation of the control system, which was created for PLC Siemens S7 300. One chapter is about implementation of the control system and next chapter is about creation of simulation application in the WinMOD and testing of the designed algorithms control the gas heating. Other chapters describe the creation of visualization applications and also commissioning of control system. The visualization application was created in the development environment Promotic.

Keywords:

Automation, Programmable logic controller, Visualization, Simulation, Gas furnace, Regulation, Simatic, Step 7, Promotic, WinMOD.

Seznam použitých symbolů a zkratek

CPU	Central processing unit (procesor)
CMD	Command (příkaz)
DB	Data block (datový blok)
FB	Function block (funkční blok)
FBD	Function block diagram (programovací jazyk funkčních bloků)
FC	Function (funkce)
FLT	Fault (porucha)
HMI	Human machine interface (rozhraní člověk – stroj)
I/O	Inputs/outputs (vstupy a výstupy)
IL	Instruction list (programovací jazyk seznamu instrukcí)
LAD	Ladder diagram (programovací jazyk příčkového diagramu)
LED	Light-emitting diode (dioda emitující světlo)
MAC	Media access control (jedinečný identifikátor síťového zařízení)
MTBF	Mean time between failures (střední doba mezi poruchami)
OB	Organization block (organizační blok)
PLC	Programmable logic controller (programovatelný logický automat)
PV	Process value (měřená hodnota)
SFB	System function block (systémový funkční blok)
SFC	System function (systémová funkce)
SP	Setpoint (žádaná hodnota)
ST	Structured text (programovací jazyk strukturovaného textu)
STS	Status (status)
UDT	User data type (uživatelsky definovaný typ)
VAT	Variable table (tabulka proměnných)

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Programovatelné automaty	2
2.1. Výhody použití programovatelných automatů	2
2.2. Rozdělení a typy programovatelných automatů	3
2.3. Programovatelný automat Siemens S7-300	4
3. Průmyslové ohřívací pece	6
3.1. Metody regulací průmyslových plynových pecí	7
3.2. Reálná plynová ohřívací pec	8
4. Vývojové prostředí STEP 7	12
4.1. Bloky vývojového prostředí STEP7.....	13
4.2. Programovací jazyky pro programovatelné automaty.....	15
5. Návrh a implementace řídicího systému	17
5.1. Seznam vstupů a výstupů	17
5.2. Definiční listina DefList PLC	18
5.3. Definiční listina DefList MAIN	20
5.4. Hardwarová konfigurace	21
5.5. Uživatelský program	22
5.5.1. Diagnostika procesoru, napájení a sběrnice Profibus.....	24
5.5.2. Regulace tlaku spalovacího vzduchu	25
5.5.3. Regulace tlaku v peci	27
5.5.4. Zchlazování rekuperátorů.....	28
5.5.5. Regulace tlaku plynu na vstupu do pece	29
5.5.6. Regulace teploty v peci	29
5.5.7. Aplikace teplotního modelu	31
5.5.8. Bezpečnostní algoritmy	32
6. Simulace a testování.....	34
6.1. Simulační hardwarová konfigurace.....	34
6.2. Simulace analogových a digitálních signálů	36
6.3. Simulace bezpečnostních algoritmů.....	37
6.4. Simulace zchlazování rekuperátorů.....	38

7. Vizualizace	39
7.1. Tvorba vizualizační aplikace.....	40
7.1.1. Hlavní obrazovky	42
7.1.2. Ikony objektů.....	43
7.1.3. Vyskakovací okna	45
7.1.4. Uživatelé a uživatelská práva	46
8. Uvádění do provozu	48
8.1. Identifikace plynové ohřívací pece.....	51
9. Závěr.....	55

1. Úvod

Automatizace je v dnešní době velmi dynamicky se rozvíjejícím oborem. Žijeme v době, kdy především v průmyslu je nutné efektivně řídit výrobu, či technologický proces. Výsledkem efektivního řízení pak je například snížení spotřeby energií nebo zvýšení produkce.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem regulace a následnou implementací řídicího systému pro plynovou ohřívací pec. V úvodu diplomové práce jsou popsány programovatelné automaty a průmyslové ohřívací pece. V kapitole, která popisuje reálnou plynovou ohřívací pec, jsou uvedeny způsoby, jak lze u takových pecí regulovat teplotu v pracovním prostoru. V práci je popsán postup, jakým byl řídicí systém vytvářen od začátku, kdy byl vytvořen seznamu vstupů a výstupů, až po uvádění řídicího systému do provozu. Další část diplomové práce řeší testování částí navrhnutého řídicího systému pomocí simulační aplikace vytvořené v softwaru WinMOD. Neméně důležitou částí je návrh a vytvoření vizualizační aplikace, která operátorům umožňuje sledovat měřené veličiny, nastavovat žádané hodnoty nebo diagnostikovat různé poruchové stavy. Závěr diplomové práce se patří reálným testům a uvádění do provozu. V kapitole, která se věnuje uvádění do provozu, je dále prezentován postup při identifikaci plynové ohřívací pece pomocí Ziegler – Nicholsonovy metody. Řídicí systém pro PLC Siemens S7-300 byl napsán převážně v programovacím jazyce FBD, některé specifické části pak v programovacím jazyce ST. Vizualizační aplikace pak byla vytvořena v systému Microsys Promotic.

Návrh a realizace řídicího systému pro plynovou ohřívací pec byla zakázka firmy Ingeteam a.s. pro firmu ArcelorMittal Ostrava a.s. Ohřívací plynové pece slouží pro ohřev dlouhých výrobků (sochorů) před dalším zpracováním. Dalším zpracováním je myšleno například válcování. Pro správné válcování je nutné zajistit vhodnou teplotu, a proto je nutné plynovou ohřívací pec vhodným způsobem regulovat.

2. Programovatelné automaty

Dříve, než se bude tato práce v dalších kapitolách zabývat návrhem a implementací řídicího systému, klade si tato kapitola za cíl obecně pojednat o programovatelných automatech. V této kapitole je obecně popsán programovatelný automat, jsou zde uvedeny výhody a případné nevýhody použití programovatelných automatů. V závěru jsou uvedeni výrobci programovatelných automatů a také je uveden krátký popis programovatelného automatu Siemens S7-300, který byl použit pro vytváření řídicího systému.

2.1. Výhody použití programovatelných automatů

Jaké jsou tedy hlavní výhody programovatelných automatů? Hlavní výhody jsou uvedeny v seznamu a blíže popsány níže v textu.

Hlavní výhody programovatelných automatů:

- rychlost realizace řídicího systému
- spolehlivost a odolnost
- komunikace
- možnost konfigurace

Mezi hlavní výhody při použití programovatelných automatů patří například rychlost realizace řídicího systému. To jinými slovy znamená, že uživatel (programátor) nemusí vyvíjet samotné zařízení. Postačí správně zvolit typ PLC a dalších komponent, jako jsou například vstupně / výstupní moduly, následně vytvořit uživatelský program a odladit jej.

Spolehlivost a odolnost se měří pomocí parametru MTBF. Jedná se o statistickou veličinu, která slouží k určení spolehlivosti výrobku. Udává střední hodnotu mezi poruchami – u PLC se MTBF udává řádově v desítkách let. Programovatelné automaty jsou také konstruovány tak, aby odolávaly rušení, které je v průmyslovém prostředí všudypřítomné.

Komunikace je rovněž jedna z předností programovatelných automatů. PLC dokáže komunikovat jak na nízké úrovni s různými snímači, čidly, akčními členy a podobně, tak dokáže komunikovat směrem nahoru s nadřazenými systémy nebo klasickými stolními počítači. Příkladem komunikace s klasickým stolním počítačem je komunikace PLC – HMI (vizualizace, která vyčítá data z oblasti paměti PLC a zobrazuje je na monitoru). Vizualizací se věnuje sedmá kapitola.

Na rozdíl od reléového systému jsou PLC snadno programovatelná – konfigurovatelná. Velmi často se stává, že až při finálním uvádění do provozu jsou odstraněny nedostatky a chyby jak v zadání (funkčním popisu), tak v uživatelském programu. U reléového řídicího systému (pevná logika) by se změny realizovaly velice pomalu a nekomfortně. V případě použití PLC postačí

pouze úprava uživatelského programu a následné nahrání programu do PLC. Samozřejmě v případě větších změn je nutné například přidat nové vstupně / výstupní karty a podobně.

Programovatelné automaty nemají jen výhody, ale i nevýhody použití. Programovatelný automat je mikroprocesorový systém, který zpracovává informace nespojitě v čase. Uživatelský program je vykonáván v cyklech a při nerespektování určitých zásad při návrhu a implementaci uživatelského programu může docházet k hazardním stavům nebo například nebude velmi krátký impuls na vstupu PLC ani vyhodnocen. Z této skutečnosti vyplývá i fakt, že řídicí systémy, které využívají programovatelné automaty, mají větší dobu odezvy. V případě pevné logiky (relé) jsou prvky stále aktivní a zpoždění systému závisí pouze na zpoždění logických členů v daném zapojení. Odezva PLC je daná rychlostí mikroprocesoru, velikostí uživatelského programu – jak dlouho bude trvat jeden cyklus, jeden průchod programu. Odezva programovatelného automatu bývá typicky v řádu desítek milisekund. U velkých a náročných aplikací se může odezva dostat až na stovky milisekund. V takových případech lze pak části kódu, které musí být zpracovány rychleji, přesunout do takzvaných rychlých úloh. Odezva výstupů na vstupy u pevné logiky (integrovane obvody) je řádově v nanosekundách, či mikrosekundách. U reléových zapojení se odezva dostává na hodnoty řádově jednotky až desítky milisekund. [1]

2.2. Rozdělení a typy programovatelných automatů

Programovatelné automaty se vyrábějí a prodávají v různých konfiguracích a lze je tedy rozdělit do několika skupin podle různých kritérií. Jedním z kritérií může být například počet vstupů a výstupů, které dokáže dané PLC zpracovat. Existují velmi malá PLC, která dokážou zpracovávat jen kolem desítky vstupů a výstupů. Pak existují střední PLC, která zpracovávají řádově stovky vstupů a výstupů. A nejvyšší třídy PLC umí zpracovávat tisíce vstupů a výstupů. Programovatelné automaty lze dělit také podle konstrukce.

Rozdělení programovatelných automatů podle konstrukce:

- Kompaktní programovatelné automaty
- Modulární programovatelné automaty

Kompaktní programovatelné automaty byly původně konstruovány tak, že měly pevně stanovenou konfiguraci modulů. Ty pak byly součástí jednoho pouzdra. Postupem času však bylo nutné i do kompaktních PLC vložit určitý stupeň modularity.

Modulární programovatelné automaty se hodí pro větší a velké aplikace. Modulární znamená, že na rám, který slouží jako jakási sběrnice, se naskládají příslušné moduly – napájecí zdroj, procesorová jednotka, komunikační procesory, případně moduly pro vstupy a výstupy. U velkých aplikací se však používají spíše vzdálené vstupy / výstupy, které jsou s PLC spojeny pomocí průmyslových sběrnic. Jako sběrnice pro spojení vzdálených vstupů a výstupů s PLC se používá například Profibus nebo Profinet. [1]

Programovatelné automaty vyrábí celá řada firem. V následujícím seznamu jsou pro ukázkou uvedeny ty největší a nejznámější světové firmy, které se zabývají vývojem a výrobou PLC.

Výrobci programovatelných automatů:

- Siemens AG
- Rockwell Automation
- Bernecker & Rainer
- Schneider Electric

Z českých výrobců programovatelných automatů lze jmenovat například firmu Teco, která sídlí v Kolíně.

2.3. Programovatelný automat Siemens S7-300

Programovatelný automat Siemens S7-300, který je zobrazen na obrázku 1 níže v textu, je jedním z nejprodávanějších automatů z nabídky společnosti Siemens AG.

Programovatelný automat Siemens S7-300 může obsahovat různé typy procesorů. Procesor zpracovává uživatelský program a typ procesoru (CPU) je tedy nutné vždy volit podle dané aplikace, ve které bude programovatelný automat pracovat. Jaké jsou možné typy procesorů?

Typy procesorů pro Siemens S7-300:

- standardní CPU
- kompaktní CPU
- technologické CPU
- bezpečnostní CPU

Standardní CPU – Tyto procesory jsou určeny pro běžné, ničím nespécifické, aplikace. Standardní typ procesoru byl použit i v případě popisovaného řídicího systému.

Kompaktní CPU – Kompaktní procesory jsou přímo doplněné o vstupy a výstupy (analogové a digitální). Takové procesory se z důvodu příznivé ceny hodí pro aplikace, které si vystačí s daným počtem vstupů a výstupů.

Technologické CPU – Technologické procesory jsou specializovány a optimalizovány pro řízení určitých typů technologií. Tyto procesory obsahují speciální funkce pro řízení například pohybu nebo polohy v několika osách současně.

Bezpečnostní CPU – Bezpečnostní (safety) procesory se používají v případech, kdy je nutné zajistit co možná největší bezpečnost obsluhy nebo je nutné zajistit výrobní stroje a zařízení

proti poškození. V uživatelském programu se pak využívají speciální funkční bloky a funkce určené pro tvorbu bezpečnostních aplikací. [2]



Obrázek 1: Programovatelný automat Siemens S7-300. [3]

Pro doplnění je možné ještě uvést v jakých podmínkách je možné programovatelné automaty Siemens S7-300 provozovat. V následující tabulce je uvedena základní technická specifikace. Nutno dodat, že existují odolnější, takzvané venkovní (outdoor) verze, které jsou schopné pracovat v mnohem větším rozsahu provozních teplot. Rozsah provozních teplot je pak při horizontální instalaci od – 25 do 60 °C.

Okolní teplota (při horizontální instalaci)	0 - 60 °C
Okolní teplota (při vertikální instalaci)	0 - 40 °C
Relativní vlhkost	5 - 95 %
Atmosférický tlak	795 - 1080 hPa

Tabulka 1: Technická specifikace PLC Siemens S7-300. [4]

3. Průmyslové ohřívací pece

Průmyslová ohřívací pec je spotřebič, který obsahuje vhodně tepelně izolovaný pracovní prostor pro ohřev nebo tepelné zpracování vsázky. Vsázka je po ohřevu pak dále zpracovávána. Dalším zpracováním může být například kování, válcování ve válcovacích stolicích, lisování nebo třeba žíhání.

Průmyslových ohřívacích pecí existuje mnoho typů. Existují krokové pece, komorové pece, průběžné pece, tavící pece, tlačné pece, sušící pece, karuselové pece, poklopové pece a mnohé další. Ohřev vsázky je realizován různým způsobem podle typu pece. Existují elektrické pece, které využívají k ohřevu vsázky elektrickou energii. Dále to jsou palivové pece a exotermické pece. Palivové pece získávají teplo k ohřevu vsázky spalováním různých paliv (převážně plynu), pece exotermické získávají teplo přímo z vsázky pomocí chemické reakce. Poslední možností mohou být pece, které kombinují již zmíněné způsoby ohřevu vsázky.

Průmyslové ohřívací pece se využívají nejen v hutním průmyslu, ale i v dalších průmyslových odvětvích. Například ve stavebnictví se používají průmyslové ohřívací pece k výrobě cementu. Pece se používají ve sklářství, v potravinářství nebo chemickém průmyslu.

Vyzdívky průmyslových ohřívacích pecí jsou tvořeny z žáruvzdorných a izolačních materiálů. Vyzdívky musí být tvořeny z materiálů, které jsou odolné a stálé i při vysokých teplotách. Stálé ve smyslu, že nemění s teplotou svůj tvar, ani své vlastnosti (mechanické, ani chemické). Používají se křemičité materiály, které lze použít až do teplot 1650 °C nebo hlinito – křemičité materiály (takzvané šamoty), které jsou určeny pro teploty do 1450 °C. Pro průmyslové ohřívací pece, kde nestačí klasické materiály, se používají uhlíkové nebo magnezitové materiály. Žáruvzdornost magnezitových materiálů je přibližně 2000 °C. Aby bylo možné zajistit co možná nejmenší tepelné ztráty, používají se navíc lehčené izolační materiály, které dokážou snížit tepelné ztráty skrz vyzdívkou pece. [5]

Průmyslová ohřívací pec, pro kterou byl vytvářen řídicí systém, patří do skupiny palivových tlačných pecí. Tyto pece se stavějí rozdělené do několika samostatně vytápěných zón, ve kterých je teplota regulována zvlášť. Hořáky v takových pecích jsou umístěny v podélném směru a vsázka tak postupuje proti horkým spalinám. Přenos tepla na vsázku je u plynových ohřívacích pecí uskutečňován třemi způsoby.

Způsoby přenosu tepla na vsázku:

- Přenos tepla sáláním
- Přenos tepla vedením
- Přenos tepla konvekci

Přenos tepla sáláním – Teplo je na vsázku přenášeno sáláním plamene, spalín, vyzdívky pece a také vzájemným sáláním povrchů vsázky. Přenos tepla závisí hlavně na teplotě spalín a na tom, jestli je ve spalínách obsažen oxid uhličitý a vodní páry.

Přenos tepla vedením – Jedná se o přenos tepla z povrchu ohřívané vsázky do středu této vsázky, případně přenos tepla mezi jednotlivými kusy vsázky.

Přenos tepla konvekcí – Teplo je na vsázku předáváno prouděním horkých spalín v pracovním prostoru pece. Přenos tepla na vsázku je tím větší, čím větší je teplota spalín a rychlost proudění spalín. [6]

3.1. Metody regulací průmyslových plynových pecí

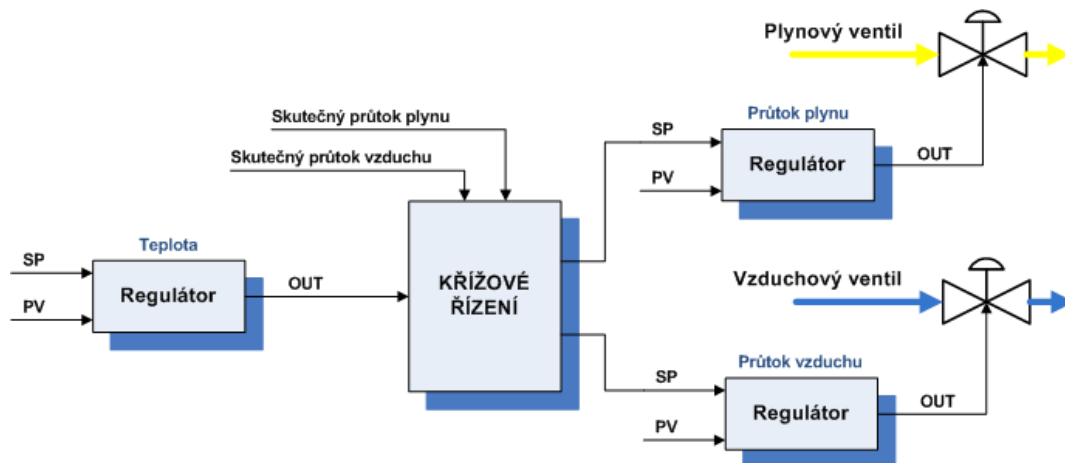
Průmyslové plynové pece lze regulovat více způsoby. Jednou z často používaných metod regulace, je regulace na žádanou teplotu v pracovním prostoru pece. Další možností je regulace na žádanou teplotu vsázky na výstupu z pece.

Při způsobu regulace na žádanou teplotu v pracovním prostoru pece se využívá takzvaná vlečná regulace. Je to způsob regulace, kdy řídicí veličina je závislá na jiné fyzikální veličině. V případě plynové ohřívací pece to znamená, že aktuální průtok plynu, jakožto řídicí veličina, je závislá na aktuální teplotě v pracovním prostoru pece. V praxi se jedná o využití dvou regulátorů, kdy je výstup jednoho regulátoru přiváděn na vstup druhého regulátoru. U plynových ohřívacích pecí však nestačí regulovat pouze průtok plynu, je nutné regulovat i průtok vzduchu do pece. Průtok vzduchu je regulován z důvodu udržení konstantního spalovacího poměru podle skutečného průtoku plynu. V takovém případě mluvíme o takzvané poměrové regulaci. Poměrová regulace je specifickým případem regulace vlečné a používá se v případě, kdy obě veličiny mají stejný fyzikální rozměr. Způsob vlečné a poměrové regulace byl použit i při vytváření řídicího systému, který popisuje tato práce.

Možností jak zlepšit takovýto způsob regulace je zanesení různých dopředných vazeb. Dopřednou vazbou může být například změna typu vsázky, která vstupuje nebo bude vstupovat do pece. Ať už se může jednat o změnu materiálu (tvrdý materiál, měkký materiál) nebo o změnu rozměrů vsázky. Dopřednou vazbou může být rovněž změna kadence pece, tedy rychlost s jakou projde vsázka skrz celou pec.

Pokud je regulována teplota v peci, kde je nutné udržovat čistě oxidační nebo čistě redukční atmosféru, je možné využít křížového řízení (cross control). U průmyslových plynových pecí, kde je vyžadována čistě oxidační atmosféra, funguje regulace následujícím způsobem. Při zvyšování výkonu pece, tedy při zvyšování teploty v peci, je primárně regulován (zvyšován) průtok vzduchu. Podle skutečného průtoku vzduchu a zadaného spalovacího poměru je pak regulován průtok plynu. Tím se zajistí, že v peci bude vždy více vzduchu, než plynu. Při snižování výkonu pece, tedy při snižování teploty v peci, je naopak primárně regulován (snižován) průtok plynu. Podle skutečného průtoku plynu a zadaného spalovacího poměru je pak regulován průtok vzduchu.

Tím se opět zajistí, že v peci bude vždy více vzduchu než plynu. V případě pecí, kde se vyžaduje čistě redukční atmosféra, probíhá regulace přesně opačným způsobem. Blokové schéma regulace s využitím křížového řízení je na obrázku 2.



Obrázek 2: Regulace teploty v peci s využitím křížového řízení.

Jednou z dalších možností, jak regulovat průmyslovou plynovou pec, je regulace na žádanou teplotu vsázky. V takovém případě je nutné měřit teplotu vsázky na výstupu z pece. Podle teploty vsázky na výstupu pece je pak nastavována žádaná hodnota teploty v pracovním prostoru pece. Tento způsob regulace často využívá aplikaci teplotního modelu, tedy druhou úroveň řízení. Do aplikace teplotního modelu vstupuje kromě teploty vsázky na výstupu z pece ještě další vstupní veličiny, jako typ materiálu v peci (jeho tepelná vodivost, tepelná kapacita, jakost), rozložení materiálu v peci, rozměry materiálu v peci nebo kadence pece. Aplikace teplotního modelu podle naprogramovaného algoritmu vše vyhodnotí a posílá do PLC žádanou hodnotu teploty v pracovním prostoru pece. V PLC je pak realizována vlečná a poměrová regulace, jak bylo popsáno výše. Výhoda použití aplikace teplotního modelu je v tom, že teplotní model dokáže mnohem lépe vystihnout dynamiku celé pece.

3.2. Reálná plynová ohřívací pec

Plynová ohřívací pec, pro kterou byl vytvářen řídicí systém, slouží pro ohřev materiálu. Materiálem jsou ocelové sochory o délce přibližně 12 metrů a různě velkém průřezu. Tyto sochory jsou výstupním produktem kontinuálního odlévání oceli. Po ohřevu jsou sochory zpracovávány na válcovacích stolicích, které jsou přímo u výstupu z ohřívací pece. Ohřívací pec spolu s válcovacími stolicemi zobrazuje obrázek 3. Výstupem jsou pak dráty různě velkého průřezu, které se pak dále zpracovávají.



Obrázek 3: Ohřívací pec spolu s válcovacími stolicemi.

Studené sochory vstupují do pece pomocí bočního valníku. Posun sochorů skrz celou pec zajišťuje tlačný mechanismus. Jedná se tedy o tlačnou pec. Po průchodu celou pecí jsou ohřáté sochory na válcovací teplotu vytlačeny bočním výtlačným mechanismem rovnou na válcovací trať. Boční výtlačný mechanismus, který je zobrazen na obrázku 4, řídí obsluha pece pomocí operátorského panelu. Mimo tlačných pecí existují například pece krokové. U krokových pecí jsou mezi sochorů v peci mezery a nemůže tak při případném přehřátí pece dojít ke slepení sochorů mezi sebou.



Obrázek 4: Boční výtlačný mechanismus.

Všechny důležité parametry plynové ohřívací pece, pro kterou byl vytvářen řídicí systém, jsou sepsány v tabulce 2. V dalších dvou tabulkách, tabulce 3 a tabulce 4, jsou sepsány doplňující parametry pro jednotlivé zóny pece. Pro doplnění je možno zmínit, že plynová ohřívací pec byla postavena jako svážná. Sklon nístěje plynové ohřívací pece je $7^{\circ} 38'$. Vyzdívka pece je tvořena

z šamotových cihel a pevná půda neboli nístěj je tvořena z korvisitu. Korvisit je ve své podstatě minerál korund, tedy oxid hlinitý. Jedná se o velmi tvrdý, ale zároveň křehký materiál.

Šířka pece	12,5 m
Délka pece	15 m
Účinná plocha pece	180 m ²
Vsázka (průřez sochorů)	11,5 x 11,5 mm
Vsázka (délka sochorů)	12 m
Maximální výkon pece	110 t / hod.
Topení pece	směsný plyn (8,5 MJ / m ³)
Maximální spotřeba plynu	24000 m ³ / hod.
Emisní limit	NO _x - 500 mg / m ³ ; SO ₂ - 2500 mg / m ³ ; CO - 800 mg / m ³
Počet zón	4

Tabulka 2: Technické údaje plynové ohřívací pece.

Maximální příkon plynu	12000 m ³ / hod.
Vzduchový ventilátor	7,5 m ³ / sek.
Teplota vzduchu	400 °C

Tabulka 3: Technické parametry pro spodní zónu.

Maximální příkon plynu (pro 1 zónu)	4000 m ³ / hod.
Vzduchový ventilátor	7,5 m ³ / sek.
Teplota vzduchu	300 °C

Tabulka 4: Technické parametry pro vyrovnávací zóny.

V plynové ohřívací peci se spaluje směsný plyn, který obsahuje více složek. Plyn je míchán ve směsné stanici, která je společná pro více plynových ohřívacích pecí. Odběry jednotlivých plynových ohřívacích pecí v čase kolísají a to je také jeden z důvodů, proč je potřeba regulovat tlak plynu na vstupu do pece. Regulace tlaku plynu na vstupu do ohřívací pece je popsána v jedné z dalších kapitol.

Složení směsného plynu:

- Vysokopecní plyn
- Koksárenský plyn (koksový plyn)
- Zemní plyn

Vysokopecní plyn, někdy též nazýván jako kychtový plyn, vzniká jako vedlejší produkt na výstupu z vysoké pece při výrobě surového železa z železné rudy. Vysokopecní plyn obsahuje velké množství oxidu uhelnatého (28 %) a je tedy možné jej využít pro spalování v ohřívacích plynových pecích. Vysokopecní plyn dále obsahuje dusík (59 %), oxid uhličitý (10 %), vodík (2,5 %) a velmi malé množství metanu (0,5 %). Vysokopecní plyn má však menší výhřevnost, a proto se k němu přidávají další složky, aby se dosáhlo vyšší výhřevnosti. [7]

Koksárenský plyn vzniká při koksování černého uhlí. Jeho výhřevnost je přibližně 15 MJ/m^3 . Obsahuje převážně vodík (60 %), dále pak metan a oxid uhelnatý. [8]

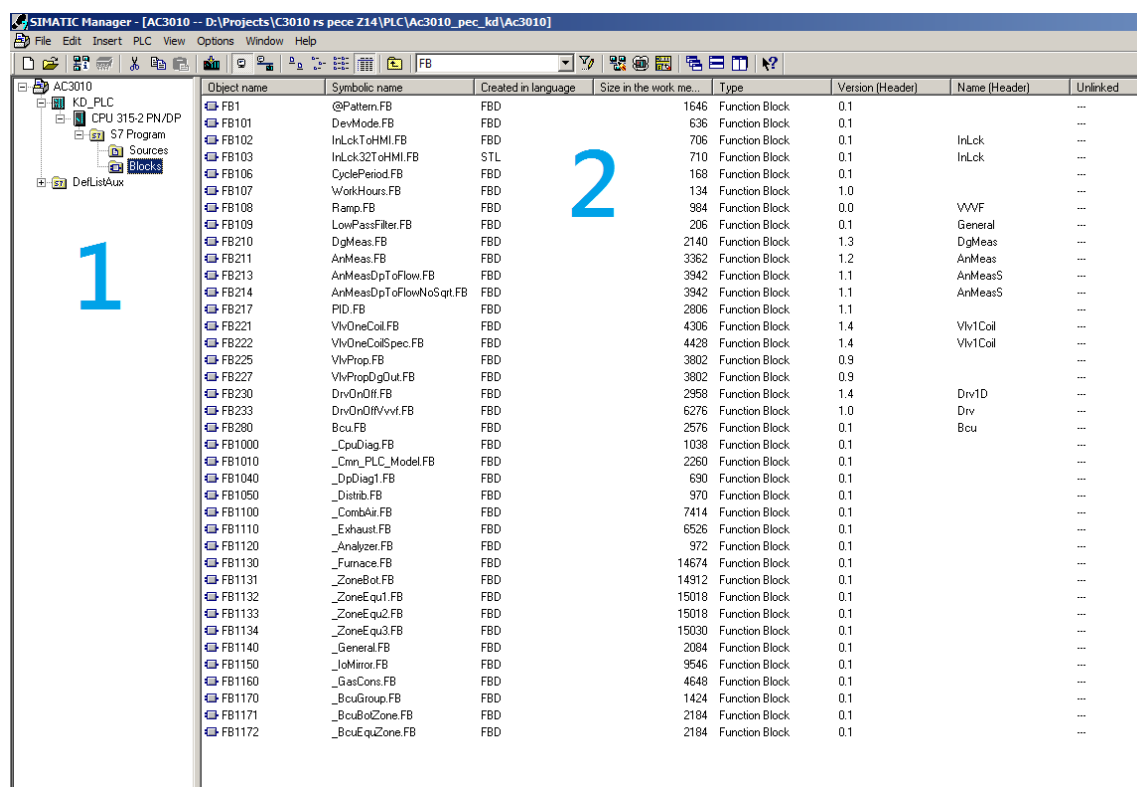
Zemní plyn je jednou z dalších složek směsného plynu pro ohřívací plynové pece. Zemní plyn má mnohem větší výhřevnost, která se pohybuje v rozmezí 16 až 34 MJ/m^3 . Zemní plyn obsahuje hlavně metan, a to až 90 %. Dále pak obsahuje oxid uhličitý. Obsah oxidu uhličitého se pohybuje do 8 %. Složení zemního plynu se však liší podle naleziště. [9]

Pro plynové ohřívací pece se ve směsných stanicích míchá plyn s výhřevností přibližně mezi 6 až 11 MJ/m^3 . Ideální výhřevnost plynu se však pohybuje mezi 8 až 9 MJ/m^3 . Podle aktuální výhřevnosti směsného plynu lze pak vypočítávat aktuální spalovací poměr.

4. Vývojové prostředí STEP 7

Řídicí systém byl vytvořen ve vývojovém prostředí Step 7 od společnosti Siemens AG. Náhled vývojového prostředí Step 7 zobrazují následující obrázky v této kapitole. Vývojové prostředí obsahuje několik hlavních částí, z nichž nejdůležitější je simatic manager, program editor, a hardwarová konfigurace. Hardwarová konfigurace je popsána v jedné z dalších kapitol, která se věnuje konkrétní hardwarové konfiguraci popisovaného řídicího systému.

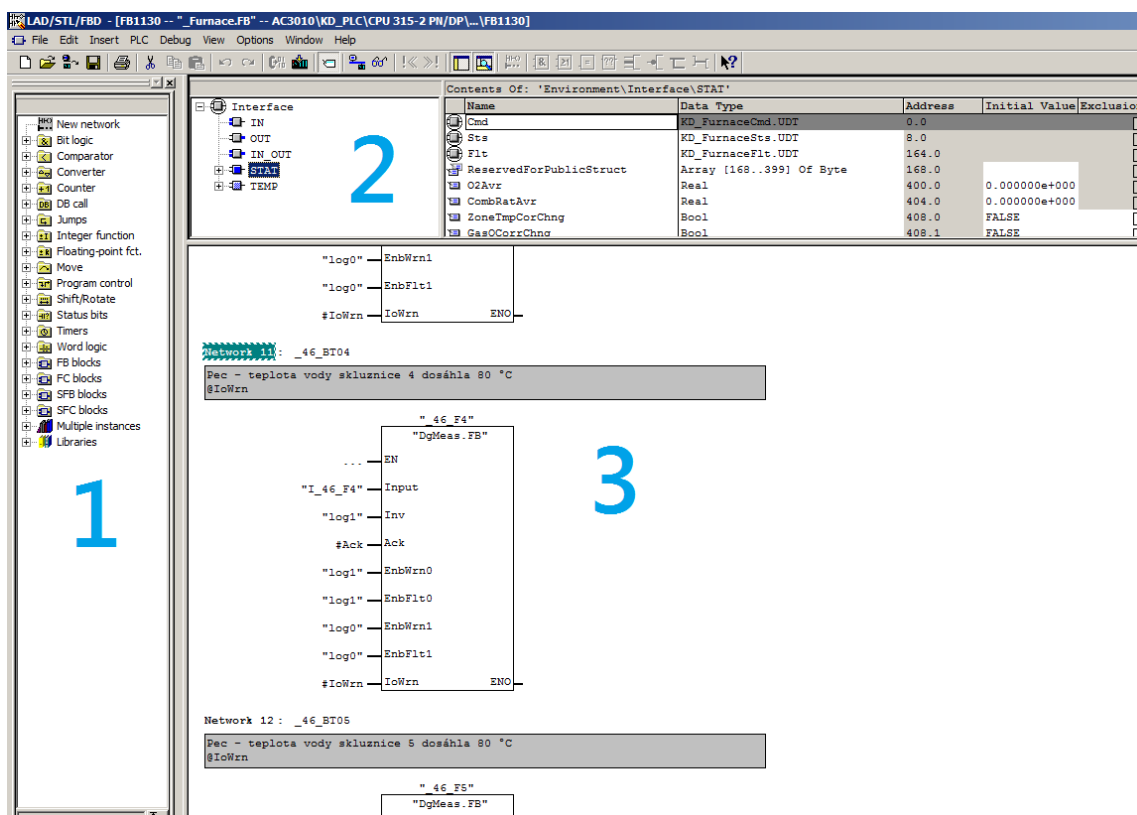
V levém okně simatic manageru (na obrázku 5 označeno modrým číslem 1) je stromová struktura, kde jsou definována jednotlivá PLC v daném projektu. Zde lze také editovat určité vlastnosti PLC. Pravou část simatic manageru (na obrázku 5 označeno modrým číslem 2) pak tvoří seznam všech vytvořených objektů. U všech objektů je v seznamu symbolické jméno, typ, programovací jazyk, datum vytvoření, datum poslední změny a další více, či méně důležité informace. Přidat lze také například autora. Pomocí filtru lze vybrat jen určitý typ objektu.



Obrázek 5: Vývojové prostředí STEP 7 – simatic manager.

Program editor slouží pro vytváření a editování uživatelského programu. Editor je rozdělen na tři základní části. Jedna část, která je umístěna na levé straně editoru (na obrázku 6 je označena modrým číslem 1), slouží jako knihovna. V této knihovně jsou do skupin rozděleny instrukce – funkční bloky. V horní části (na obrázku 6 označeno modrým číslem 2) se definují proměnné a interface funkčních bloků, tedy definování vstupů a výstupů pro funkční bloky. Největší částí (na

obrázku 6 označeno modrým číslem 3) je pak samotný editor, pomocí kterého se vytváří uživatelská aplikace.



Obrázek 6: Vývojové prostředí STEP 7 – program editor.

4.1. Bloky vývojového prostředí STEP7

Uživatelský program je tvořen z bloků. Ve vývojovém prostředí Step 7 je možné pracovat s různými typy bloků. Všechny tyto bloky jsou uvedeny v následujícím seznamu a dále v textu jsou všechny tyto bloky blíže popsány.

Bloky vývojového prostředí STEP7:

- Organizační bloky (OB)
- Funkční bloky (FB)
- Funkce (FC)
- Datové bloky (DB)
- Uživatelské datové typy (UDT)
- Systémové funkční bloky a funkce (SFB, SFC)
- Tabulky proměnných (VAT)

Organizační bloky – OB: Organizační bloky jsou volány přímo operačním systémem PLC za určitých okolností nebo v přesně daných časových intervalech. Některé organizační bloky a jejich funkci popisuje následující seznam.

- OB1 – Cyklické volání uživatelského (hlavního) programu, interval spouštění je dán složitostí uživatelského programu.
- OB35 – Cyklické přerušení, spouští se v předem definovaných intervalech, interval se definuje v hardwarové konfiguraci.
- OB87 – Komunikační chyba.
- OB100 – Přerušení, které se provede jen jednou při spuštění programovatelného automatu.
- OB121 – Programátorská chyba.
- OB122 – Chyba přístupu, tento organizační blok je volán při přístupu na neexistující vstup nebo výstup.

Funkční bloky – FB: jsou to logické bloky, které obsahují uživatelský program. Uživatel je tedy musí sám naprogramovat. Funkčním blokům je přiřazena paměť – instanční datový blok. Data (parametry) v tomto instančním datovém bloku zůstanou uložena i ve chvíli, kdy je vykonávání funkčního bloku ukončeno.

Funkce – FC: Funkce je podobně jako funkční blok logickým blokem, který obsahuje uživatelský program. Funkce však nemá přidělenou žádnou oblast paměti. Při každém volání pracuje s právě předanými parametry (proměnnými). Funkce se používají na zpřehlednění programu. S výhodou je lze použít pro aritmetické nebo logické operace, které se v uživatelském programu často opakují.

Datové bloky – DB: Datový blok je vyhrazená oblast v paměti, která obsahuje parametry (proměnné) a uživatelská data. Existují dva typy datových bloků, jedním typem jsou instanční datové bloky, druhým typem jsou pak sdílené datové bloky.

- Instanční datové bloky – Datový blok je instancí funkčního bloku a struktura dat je shodná jako struktura dat určitého funkčního bloku.
- Sdílené datové bloky – Datový blok má libovolnou strukturu dat. Lze říci, že takový datový blok obsahuje globální data, která jsou dostupná odkudkoliv z uživatelského programu.

Uživatelské datové typy – UDT: Jedná se o strukturu, tedy o předem definované rozložení paměti. Struktura má předem danou velikost a může obsahovat proměnné různých datových typů.

Systémové funkční bloky a funkce – SFB, SFC: Systémové funkční bloky a funkce jsou definovány výrobcem programovatelného automatu a nelze je nijak modifikovat. Jedná se například o bloky časovačů, čítačů nebo bloky pro kopírování proměnných.

Tabulky proměnných – VAT: Tabulky pomocí, kterých lze monitorovat stavy proměnných. Tabulky proměnných nevykonávají žádný uživatelský program, ani nelze využít pro ukládání žádných uživatelských dat.

4.2. Programovací jazyky pro programovatelné automaty

Vývojové prostředí Step 7 umožňuje programování v různých programovacích jazycích. Programovací jazyky pro programovatelné automaty upravuje mezinárodní norma IEC/EN 61131–3. Tato norma doporučuje několik programovacích jazyků. Některé programovací jazyky, které jsou dále krátce popsány, jsou uvedeny v následujícím seznamu. Samozřejmě existují i další programovací jazyky pro programovatelné automaty. Z dalších programovacích jazyků lze uvést například jazyk Continuous function chart (CFC) nebo Sequential function chart (SFC).

Programovací jazyky pro programovatelné automaty:

- Instruction list (IL)
- Structured text (ST)
- Ladder diagram (LD)
- Function block diagram (FBD)

Programovací jazyk **Instruction list** (jazyk seznamu instrukcí) spadá do skupiny textových programovacích jazyků. Program napsaný tímto programovacím jazykem se skládá z posloupnosti základních příkazů – instrukcí. Jazyk Instruction list se svou strukturou podobá programovacímu jazyku Assembler. Programovací jazyk je tvořen základními instrukcemi pro přesun dat mezi registry, instrukcemi pro základní matematické operace a podobně. Tento programovací jazyk se nehodí pro psaní velkých (složitých) programů, neboť při velkém množství kódu se stává zápis nepřehledným. Naopak hodí se pro krátké části programu, které mají být optimalizovány na rychlost provádění. [10]

Programovací jazyk **Structured text** (jazyk strukturovaného textu) patří do programovacích jazyků vyšší úrovně, podobně jako například programovací jazyk C. Stejně jako jazyk Instruction list spadá programovací jazyk Structured text do skupiny textových jazyků. Program napsaný v tomto jazyce se skládá ze sekvence symbolických instrukcí. Programovací jazyk Structured text je vhodný pro práci s řetězci, daty nebo databázemi. [11]

```
Network 5 : Send data to model
Comment:
//Status model on - furnace
A      "_ZoneBot".Sts.ModelOn
A      "_ZoneEqu1".Sts.ModelOn
A      "_ZoneEqu2".Sts.ModelOn
A      "_ZoneEqu3".Sts.ModelOn
=      "FURN_to_MODEL".FrnModelCtrl
```

Obrázek 7: Ukázka zdrojového kódu v programovacím jazyce Structured text.

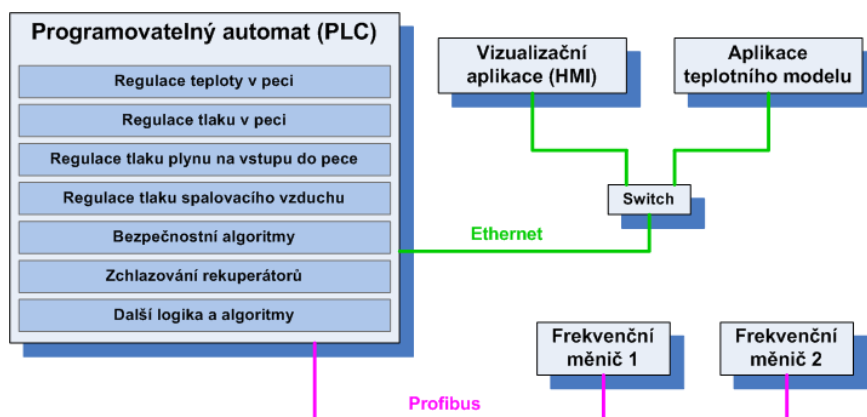
Programovací jazyk **Ladder diagram** (jazyk příčkového diagramu) je grafický programovací jazyk a v podstatě vychází z reléové logiky, kdy zápis programu odpovídá zapojení elektrických relé. Jedná se o poměrně jednoduchý programovací jazyk. Program napsaný v tomto jazyce je zvláště u malých programů velmi přehledný. Tento jazyk je vhodný spíše pro méně složité programy, kde převládají logické operace.

Programovací jazyk **Function block diagram** (jazyk funkčních bloků) je jazykem funkčních bloků a stejně jako jazyk Ladder diagram se řadí do skupiny grafických programovacích jazyků. Program napsaný v tomto jazyce je dán posloupností funkčních bloků, které reprezentují určité funkce (logické funkce, matematické operace, časovače a podobně). Program napsaný v tomto programovacím jazyce se vyznačuje velkou přehledností, není však vhodný na složité aritmetické výpočty nebo pro práci s velkým množstvím dat.

5. Návrh a implementace řídicího systému

V prvním kroku při návrhu a implementaci řídicího systému bylo nutné vytvořit seznam všech vstupů a výstupů. Jako základ pro vytvoření řídicího programu pak byly vytvořeny takzvané definiční listiny. Definiční listiny byly vytvořeny dvě. Jedna definiční listina s názvem „DefList PLC“, určuje všechny objekty a skupiny objektů, které jsou v uživatelském programu použity. Druhá definiční listina nese název „DefList MAIN“ a obsahuje popis jednotlivých UDT struktur pro funkční bloky. Tato definiční listina dále obsahuje například komunikační struktury. Obě definiční listiny jsou popsány v dalších kapitolách. A obě byly vytvořeny pomocí programu Microsoft Excel.

Komponenty řídicího systému představuje v podobě blokového schéma obrázek 8. Řídicí systém obsahuje PLC, kde jsou realizovány veškeré regulace a algoritmy spojené s řízením technologie. K monitorování a ovládání technologie slouží vizualizační aplikace nainstalovaná na stolním počítači. Ventilátory spalovacího vzduchu jsou řízeny pomocí dvou frekvenčních měničů připojených k PLC skrz sběrnici Profibus. Programovatelný automat je pak ještě připojen pomocí sběrnice Ethernet k nadřazenému systému (aplikace teplotního modelu).



Obrázek 8: Komponenty řídicího systému.

5.1. Seznam vstupů a výstupů

Seznam vstupů a výstupů (I/O list) obsahuje všechny digitální i analogové vstupy a všechny digitální i analogové výstupy. Z vytvořeného seznamu vstupů a výstupů pak vychází i projektová dokumentace. Náhled části seznamu vstupů a výstupů zobrazuje níže tabulka 5. Seznam vstupů a výstupů obsahuje několik sloupců, z nichž nejdůležitější pro tvorbu řídicího systému jsou sloupce uvedené v následujícím seznamu.

Důležité sloupce (položky) v seznamu vstupů a výstupů:

- Adresa
- Symbolická adresa
- Popis signálu – komentář

Kromě výše zmíněných informací obsahuje seznam vstupů a výstupů ještě například fyzikální rozsah. Fyzikální rozsah se uvádí u analogových vstupů, například pro měření teploty nebo pro měření tlaku. Dále je možné uvádět měřicí rozsah a typ měření. Měřicím rozsahem se myslí to, jestli se jedná o vstup napěťový (0 – 10 V) nebo proudový (4 – 20 mA). Typem měření je pak myšleno to, jestli je snímač připojen pomocí dvou nebo čtyř vodičů. Tabulka 5 zobrazuje výňatek ze seznamu vstupů a výstupů, podle kterého byl řídicí systém pro plynovou ohřívací pec vytvořen. Celý seznam vstupů a výstupů je k dispozici v příloze k této práci.

Adresa	Symbol	Komentář	Fyzikální rozsah
PIW560	IW_19_02	Tah komína	-800 / 0 Pa
PIW562	IW_20_02	Tlak plynu na vstupu	0 / 4 kPa
PIW564	IW_22_02	Tlak plynu regulovaný	0 / 4 kPa
PIW566	IW_23_02	Tlak vzduchu ventilátoru I (SZ)	0 / 10 kPa
PIW568	IW_24_02	Tlak vzduchu ventilátoru II (VZ)	0 / 10 kPa
PIW570	IW_27_02	Tlak v peci	-100 / 100 Pa
PIW572	IW_30_03	Průtok plynu do pece	0 / 30000 m ³ /h
PIW574	IW_31_03	Průtok plynu do spodní zóny	0 / 15000 m ³ /h
PIW576	IW_32_03	Průtok plynu do vyrov. zóny I	0 / 5000 m ³ /h
PIW578	IW_33_03	Průtok plynu do vyrov. zóny II	0 / 5000 m ³ /h
PIW580	IW_34_03	Průtok plynu do vyrov. zóny III	0 / 5000 m ³ /h

Tabulka 5: Část seznamu vstupů a výstupů.

5.2. Definiční listina DefList PLC

Tato definiční listina, jak již bylo uvedeno výše, určuje všechny objekty a skupiny objektů, jež jsou použity v programu. Definiční listina má mnoho sloupců, z nichž prvních 6 sloupců je nejdůležitějších. Každý sloupec má speciální význam a každý řádek pak představuje jednotlivý objekt (analogové měření, digitální měření, nebo například pohon). Jako podklad pro tvorbu definiční listiny PLC byl použit jako hlavní zdroj informací I/O list, tedy seznam všech vstupů a výstupů a dále pak projektová dokumentace. Jako další podklady mohou být použity PI diagramy nebo instrumentační a motorové listiny. Náhled části definiční listiny ukazuje tabulka 6 níže v textu. Celá definiční listina DefList PLC je k dispozici v příloze k této práci.

Důležité sloupce (položky) definiční listiny PLC:

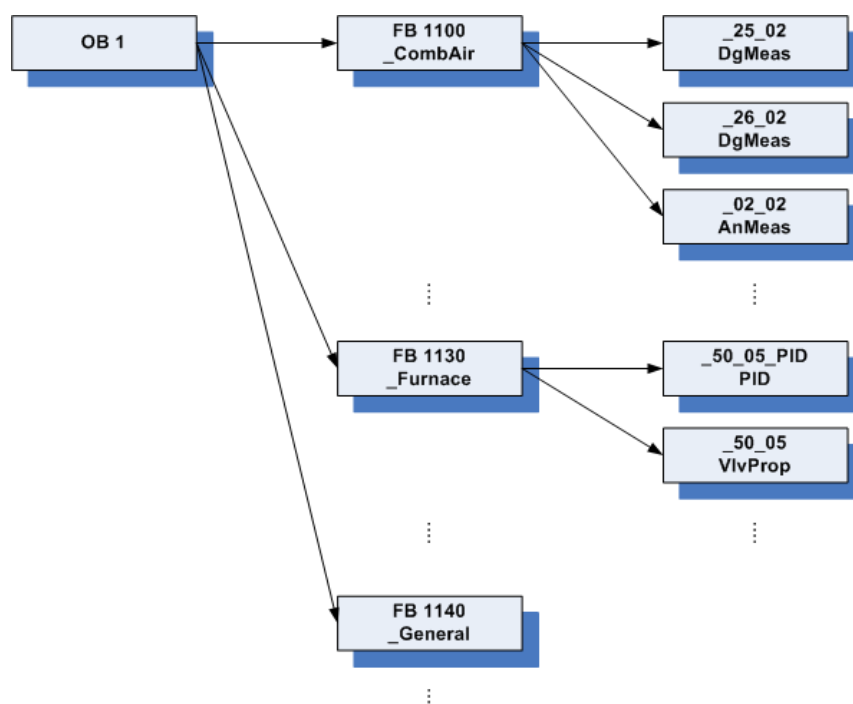
- Group – Jednoznačné určení skupin objektů (určuje, do které skupiny objekt patří).
- Symbol – Jednoznačný identifikátor (název) pro objekt nebo skupinu objektů, zároveň se jedná o symbol instančního DB daného objektu nebo skupiny objektů.
- Type – Určení typu (objekt nebo skupina objektů).
- Struct – Přiřazení UDT struktur k objektu nebo skupině objektů.
- DB – Číslo datového bloku pro objekt nebo skupinu objektů.
- Description – Komentář k jednotlivému objektu nebo skupině objektů, komentář je dále využíván například v alarmech.

Group	Symbol	Type	Struct	DB	Description
_Furnace	_20_02	AnMeas	AnMeas	2279	Pec - tlak plynu na vstupu
_Furnace	_22_02	AnMeas	AnMeas	2280	Pec - tlak plynu regulovaný
_Furnace	_17_02	AnMeas	AnMeas	2281	Pec - teplota chladicí vody
_Furnace	_18C_02	AnMeas	AnMeas	2282	Pec - teplota vsázky
_Furnace	_60_06A	VlvOneCoil	Vlv	2283	Pec - bezpečnostní uzávěr plynu I
_Furnace	_60_06B	VlvOneCoil	Vlv	2284	Pec - bezpečnostní uzávěr plynu II
_Furnace	_50_05_PID	PID	PID	2285	Pec - poloha regulační klapky tlaku plynu - PID
_Furnace	_50_05	VlvProp	VlvProp	2286	Pec - poloha regulační klapky tlaku plynu
/Spare					
/Furnace - zone botoom					
_Furnace	_ZoneBot	Group	KD_Zone	1131	Pec - spodní zóna
_ZoneBot	_70_06F	DgMeas	DgMeas	2300	Pec - spodní zóna - Max. teplota - spodní zóna
_ZoneBot	_11_02	AnMeas	AnMeas	2301	Pec - spodní zóna - teplota mezi hořáky

Tabulka 6: Část definiční listiny PLC.

Například objekt s názvem _20_02 (název je definován ve druhém sloupci) je objekt analogového měření (typ je definován ve třetím sloupci), který pro komunikaci s vizualizací používá UDT struktury s názvem AnMeas (název struktury udává čtvrtý sloupec). Objekt patří do skupiny _Furnace (příslušnost ke skupině objektů určuje sloupec číslo jedna). Číslo instančního datového bloku je 2279 (číslo je jednoznačně určeno ve sloupci číslo pět) a upřesňující komentář je definován v šestém sloupci. [12]

Skupiny umožňují rozčlenit objekty do jakýchsi technologických celků. Toto členění se pak využívá i v programu PLC. Takové členění přispívá k přehlednosti celého programu PLC. Například funkční blok FB1100 obsahuje všechny objekty, které souvisejí se spalovacím vzduchem. Ukázka konkrétního členění PLC programu do funkčních bloků zobrazuje obrázek 9.



Obrázek 9: Ukázka strukturování funkčních bloků v řídicím systému.

5.3. Definiční listina DefList MAIN

Deflist MAIN obsahuje všechny potřebné UDT struktury a je to tedy neméně důležitý dokument pro tvorbu programu. Nejdůležitější jsou v definiční listině MAIN komunikační struktury pro komunikaci mezi PLC a vizualizační aplikací. Struktury jsou uvedeny v následujícím seznamu, níže je pak jejich popis.

Struktury pro komunikaci s vizualizační aplikací:

- SP – setpoints
- CMD – commands
- STS – statuses
- FLT – faults

Struktura setpoints: v této UDT struktuře jsou definovány všechny žádané hodnoty, konstanty a parametry, které lze nastavovat pomocí vizualizace nebo VAT tabulek.

Struktura commands: tato UDT struktura obsahuje všechny příkazy, které lze například pomocí tlačítek zadávat z vizualizace.

Struktura statuses: UDT struktura statusů, statusy se používají pro zobrazování všech stavů na vizualizaci.

Struktura faults: v této UDT struktuře jsou definovány všechny poruchy a varování, tato struktura se používá při vytváření alarmů na vizualizaci.

AnMeas				26	BYTE	
T	0	0	Wrn	BOOL	FALSE	Warning
T	0	1	WrnNAck	BOOL	FALSE	Warning not acknowledged
T	0	2	Flt	BOOL	FALSE	Fault
T	0	3	FltNAck	BOOL	FALSE	Fault not acknowledged
TI	0	4	MFlt	BOOL	FALSE	Measurement fault
TI	0	5	MFltNAck	BOOL	FALSE	Measurement fault not acknowledged
TI	0	6	MWrn	BOOL	FALSE	Measurement warning
TI	0	7	MWrnNAck	BOOL	FALSE	Measurement warning not acknowledged
TI	1	0	FltHiHi	BOOL	FALSE	Fault - HiHi limit
TI	1	1	FltHiHiNAck	BOOL	FALSE	Fault - HiHi limit - not acknowledged
TI	1	2	FltHi	BOOL	FALSE	Warning - Hi limit
TI	1	3	FltHiNAck	BOOL	FALSE	Warning - Hi limit - not acknowledged
TI	1	4	FltLo	BOOL	FALSE	Warning - Lo limit

Tabulka 7: Část struktury statusů pro objekt analogového měření.

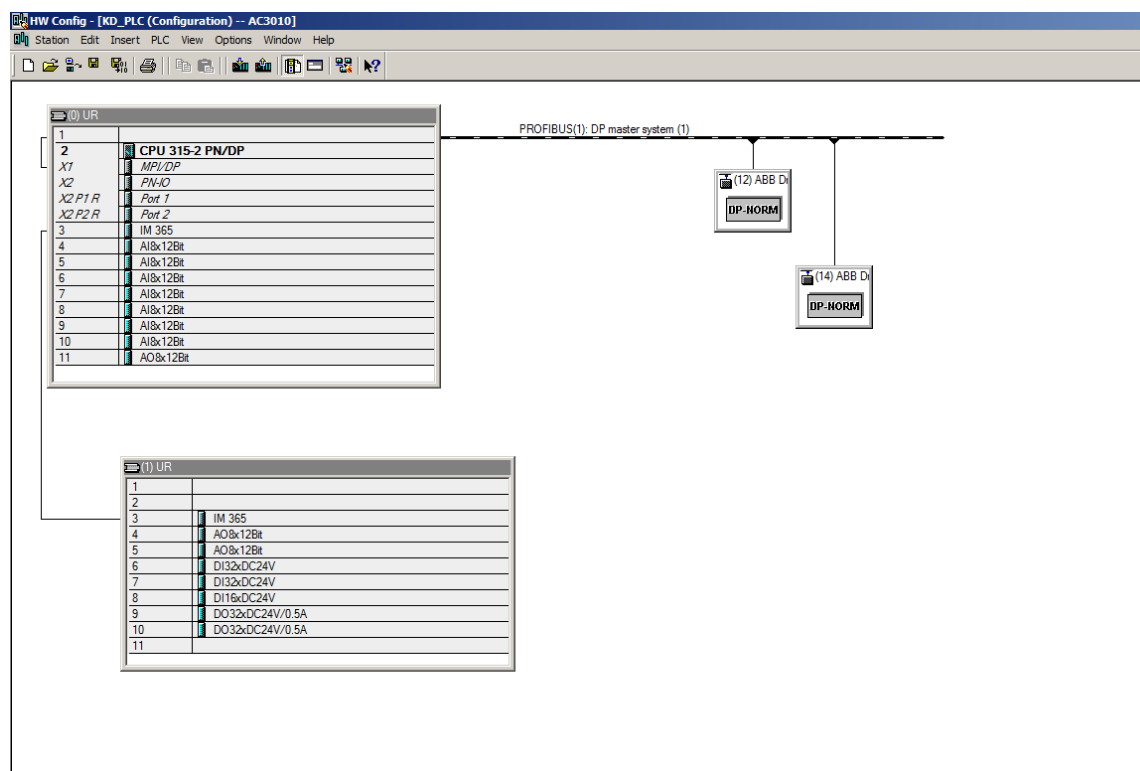
Tabulka 7 výše ukazuje část struktury statusů pro analogové měření. Analogové měření je jedním ze standardních objektů, které byly požity. První sloupec obsahuje takzvané HMI atributy. HMI atributy jsou důležité z hlediska generování Tagů pro vizualizační aplikaci. V následujících dvou sloupcích, je definována hodnota pro byte a bit. Ve čtvrtém sloupci je název Tagu. Pátý sloupec obsahuje definici datového typu a v šestém sloupci je inicializační hodnota. V posledním sloupci je obsažen doplňující komentář, který blíže specifikuje význam Tagu. Všechny UDT struktury použité v PLC programu jsou k dispozici v příloze k této práci. [12]

5.4. Hardwarová konfigurace

Hardwarová konfigurace byla vytvořena na základě projektové dokumentace. Řídící systém využívá programovatelný automat s procesorem CPU 315-2 PN/DP. K procesoru je na stejném racku přidán ještě interface modul a za interface modulem jsou přidány karty pro vstupy a výstupy. Na dalším racku je pak další interface modul a zbytek vstupně / výstupních karet. Celkově bylo použito 15 vstupně / výstupních karet. Pro analogové vstupy bylo použito 7 karet, pro analogové výstupy 3 karty, pro digitální vstupy 3 karty a pro digitální výstupy pak byly použity karty dvě. Vždy je vhodné při návrhu dbát na to, aby byly v hardwarové konfiguraci rezervy. Kdykoliv je pak možné přidat jakýkoliv nový vstup nebo výstup, ať již analogový nebo digitální. Hardwarovou konfiguraci totiž nelze měnit a přehrávat za provozu. Při změně a přehrávání

hardwarové konfigurace přechází programovatelný automat do režimu STOP, v takové chvíli se nevykonává uživatelský program a automat neřídí technologii. To většinou u průmyslových technologií není možné a programovatelný automat musí fungovat bez výpadku.

Po komunikační sběrnici Profibus jsou k PLC připojeny ještě dva frekvenční měniče ACS 800 od společnosti ABB, které slouží k regulaci tlaku spalovacího vzduchu. Reálnou hardwarovou konfiguraci navrhovaného řídicího systému zobrazuje níže v textu obrázek 10.



Obrázek 10: Reálná hardwarová konfigurace řídicího systému.

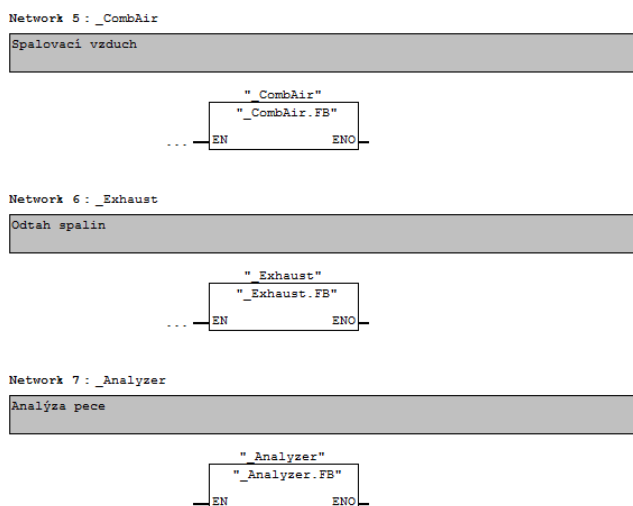
5.5. Uživatelský program

Při vytváření uživatelského programu bylo v prvním kroku nutné vložit do symbolické tabulky všechny potřebné symboly pro funkční i datové bloky. Zároveň bylo nutné vložit do symbolické tabulky všechny symboly pro vstupy i výstupy. A v neposlední řadě jména všech potřebných UDT struktur a samozřejmě všechny UDT struktury vložit do projektu.

482	IW_37_05	PIW 580	INT	Průtok vzduchu do vyrov. zóny II
483	IW_38_03	PIW 588	INT	Průtok vzduchu do vyrov. zóny III
484	IW_40_05	PIW 590	INT	Wobbeho číslo
485	IW_50_05	PIW 592	INT	Poloha reg. klapy tlaku plynu
486	IW_51_05	PIW 594	INT	Poloha reg. klapy plynu SZ
487	IW_52_05	PIW 596	INT	Poloha reg. klapy plynu VZ I
488	IW_53_05	PIW 598	INT	Poloha reg. klapy plynu VZ II
489	IW_54_05	PIW 600	INT	Poloha reg. klapy plynu VZ III
490	IW_55_05	PIW 602	INT	Poloha reg. klapy vzduchu SZ
491	IW_56_05	PIW 604	INT	Poloha reg. klapy vzduchu VZ I
492	IW_57_05	PIW 606	INT	Poloha reg. klapy vzduchu VZ II
493	IW_58_05	PIW 608	INT	Poloha reg. klapy vzduchu VZ III

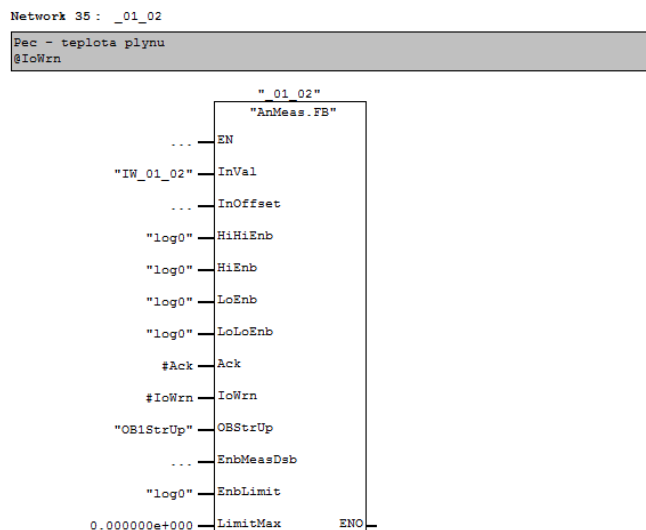
Obrázek 11: Část symbolické tabulky

V tuto chvíli byl projekt připraven na vytvoření funkčních bloků (FB) typu „Group“. Funkční bloky typu „Group“ byly vytvořeny vygenerováním z definiční listiny PLC. Všechny tyto funkční bloky jsou cyklicky volány v organizačním bloku jedna (OB1). Uložení se automaticky k těmto funkčním blokům vygenerovaly odpovídající datové bloky (DB). Na následujícím obrázku 12 níže v textu je zobrazena část organizačního bloku (OB1).



Obrázek 12: Část programu organizačního bloku (OB1).

Vytvořením funkčních bloků typu „Group“ byl program rozčleněn na technologické části, přesně podle definiční listiny PLC. Tímto rozdělením byla zajištěna přehlednost programu. Do funkčních bloků typů „Group“ byly následně vloženy všechny objekty tak, jak byly nadefinovány v definiční listině PLC. Na obrázku 13 níže v textu je funkční blok analogového měření pro teplotu plynu na vstupu do pece.



Obrázek 13: Funkční blok pro analogové měření.

Při vytváření PLC programu, stejně jako u vytváření jakéhokoliv jiného programu, v jakémkoliv programovacím jazyce, je vhodné pamatovat na komentáře. Komentáře slouží pro lepší orientaci ve zdrojovém kódu a programátorovi tak pomáhají s pochopením logiky programu. Zvláště vrátí-li se programátor k již před lety napsanému programu, jsou komentáře neocenitelným pomocníkem při chápání logiky programu. Programovací jazyk FBD, ve kterém byl řídicí systém napsán, umožňuje vytvářet nadpisy pro jednotlivé Networky a dále je možné ke každému Networku vložit zvláštní komentář.

Jednotlivé další podkapitoly popisují dílčí části řídicího systému. Funkční celky a jednotlivé regulace jsou rozděleny podle definiční listiny PLC do jednotlivých funkčních bloků. Následující kapitoly se věnují všem důležitým funkčním celkům.

5.5.1. Diagnostika procesoru, napájení a sběrnice Profibus

Diagnostikování poruch a závad je pro kvalitní řídicí systém stejně důležité jako řízení samotné technologie. S pomocí diagnostiky lze mnohem lépe zjistit příčiny závad a poruch, které mohou po dobu provozu řídicího systému vzniknout.

Do řídicího systému jsou zavedeny signály týkající se napájení a distribuce. Tyto digitální signály jsou zpětné vazby z jističů a jsou zpracovávány ve funkčním bloku FB1050 s názvem **Distrib**. Funkční blok v podstatě pouze zajišťuje to, že jsou digitální signály zobrazeny ve vizualizační aplikaci. Signály z distribuce jsou ve vizualizační aplikaci zobrazeny na obrazovce s názvem Distribuce. V případě vybavení jističe pak generuje funkční blok alarmní hlášení, aby upozornil obsluhu o vzniklé situaci.

Diagnostiku procesoru zajišťuje funkční blok FB1000 s názvem **_CpuDiag**. Funkční blok generuje alarmní poruchovou hlášku v případě, že je vykonán některý z organizačních bloků, který je uveden v následujícím seznamu.

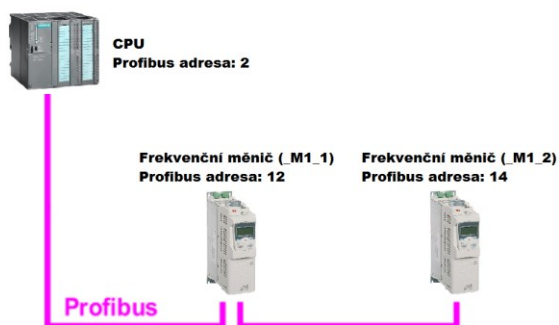
Organizační bloky, které při volání generují alarmní hlášku:

- OB80 – Time error, časová chyba
- OB82 – Diagnostic interrupt, diagnostické přerušení
- OB83 – Insert / remove module interrupt, přerušení vložení / vyjmutí modulu
- OB85 – Program cycle error, zacyklení programu
- OB87 – Communication error, komunikační chyba
- OB100 – Restart, restart
- OB121 – Programming error, programová chyba
- OB122 – Access error, chyba přístupu

K programovatelnému automatu byly po sběrnici Profibus připojeny dva frekvenční měniče, které regulují otáčky ventilátorů pro spalovací vzduch. Diagnostiku sběrnice Profibus zajišťuje funkční blok FB1040 s názvem **_DpDiag1**.

5.5.2. Regulace tlaku spalovacího vzduchu

Plynová ohřívací pec má k dispozici dva ventilátory pro spalovací vzduch. Jeden ventilátor vhání spalovací vzduch do spodní zóny a druhý ventilátor vhání spalovací vzduch do všech tří vyrovnávacích zón. Z důvodu úspory elektrické energie jsou tyto ventilátory ovládány přes dva frekvenční měniče. Schéma propojení PLC a frekvenčních měničů pomocí sběrnice Profibus zobrazuje níže v textu obrázek 14.



Obrázek 14: Schéma sítě Profibus.

Programovatelný automat komunikuje s frekvenčním měničem pomocí řídicích slov (control words) a stavových slov (status words). První slovo bývá obvykle komunikováno po jednotlivých bitech, další slova pak již jako analogové hodnoty. Tabulka 8 definuje komunikaci ve

směru z frekvenčního měniče do PLC, tabulka 9 pak definuje komunikaci ve směru opačném, z PLC do frekvenčního měniče.

STATUS WORD 1	
Bit	Popis
0	RDY_ON - ready to switch on
1	RDY_RUN - ready to operate
2	RDY_REF - operation enabled
3	TRIPPED - fault
4	OFF_2_STA - off2 inactive
5	OFF_3_STA - off3 inactive
6	SWC_ON_INHIB - switch on inhibited
7	ALARM - warning, alarm
8	AT_SETPOINT - actual value equals reference value
9	REMOTE
10	ABOVE_LIMIT
11	EXT_CTRL_LOC
12	EXT_RUN_ENABLE
13	RESERVED
14	RESERVED
15	COMMUNICATION - communication error detected

Tabulka 8: Popis jednotlivých bitů prvního stavového slova. [13]

Tabulka 8 definuje pouze význam jednotlivých bitů v prvním řídicím slově. Ve druhém řídicím slově je posílána do frekvenčního měniče žádaná hodnota otáček ventilátoru v procentech (100% odpovídá maximálním otáčkám ventilátoru 1480 otáček za minutu).

CONTROL WORD 1	
Bit	Popis
0	OFF_1_CONTROL
1	OFF_2_CONTROL
2	OFF_3_CONTROL
3	INHIBIT_OPERATION
4	RAMP_OUT_ZERO
5	RAMP_HOLD
6	RAMP_IN_ZERO
7	RESET - fault reset
8	INCHING_1
9	INCHING_2
10	REMOTE_CMD - fieldbus control enabled
11	EXT_CTRL_LOC
12	RESERVED
13	RESERVED
14	RESERVED
15	RESERVED

Tabulka 9: Popis jednotlivých bitů prvního řídicího slova. [13]

Tabulka 9 zobrazuje opět pouze význam jednotlivých bitů v prvním stavovém slově. Ve druhém stavovém slově posílá frekvenční měnič do PLC aktuální otáčky ventilátoru (0 – 1480 otáček za minutu) a ve třetím stavovém slově posílá frekvenční měnič do PLC aktuálně odebíraný proud ventilátoru (0 – 142 A).

Jak probíhá komunikace programovatelného automatu s frekvenčním měničem? Aby bylo možné frekvenční měnič, a tedy i ventilátor, ovládat z PLC je nutné nastavit desátý bit (REMOTE_CMD) řídicího slova na hodnotu logická 1. Tím se zajistí, že frekvenční měnič je řízen z PLC přes sběrnici Profibus. Frekvenční měnič se spouští a zastavuje pomocí nultého bitu (OFF_1_CONTROL). Při spouštění je nutné také posílat ve druhém řídicím slově žádané otáčky. Reset případných poruch frekvenčního měniče je realizován pomocí sedmého bitu (RESET).

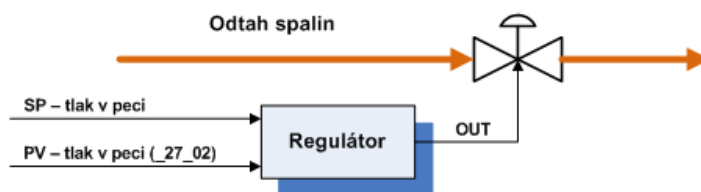
Celý funkční blok FB1100 byl naprogramován tak, že lze volit mezi dvěma módy regulace. Prvním módem je regulace na žádaný tlak spalovacího vzduchu. Otáčky ventilátoru se mění v závislosti na aktuální hodnotě tlaku spalovacího vzduchu v potrubí směrem do pece. Poklesne-li tlak spalovacího vzduchu, otáčky ventilátoru se zvýší a zase naopak. Druhým módem je optimální regulace, kdy se otáčky ventilátoru mění v závislosti na procentuálním otevření vzduchových ventilů v jednotlivých zónách (spodní zóna, vyrovnávací zóny). U regulace otáček ventilátoru pro vyrovnávací zóny je brán v potaz vždy vzduchový ventil, který je nejvíce otevřený. Jedná se o přímo úměrnou regulaci, kdy při větším procentuálním otevření vzduchového ventilu se zvyšují i otáčky ventilátoru. Tento druhý mód regulace byl do řídicího systému zakomponován až v průběhu uvádění do provozu. A vznikl z důvodu možnosti větší úspory elektrické energie.

Pro případ poruchy jednoho z frekvenčních měničů umožňuje elektrické zapojení a řídicí systém spustit záložní ventilátor pomocí motorového softstartéru.

5.5.3. Regulace tlaku v peci

V plynové peci je nutné udržovat mírný přetlak oproti okolnímu atmosférickému tlaku. Je to z toho důvodu, aby při otevření vrat na vstupu nebo na výstupu pece nenasávala pec okolní studený vzduch. Za normálního provozu se v plynové ohřívací peci udržuje přetlak okolo 20 Pa. Tlak v peci je udržován pomocí proporcionálního ventilu, umístěného na začátku komína. Jedná se o takzvané komínové hradítko. Funkce komínového hradítka je velmi prostá. Podobně jako u regulace tlaku plynu na vstupu do pece se jedná o jednoduchou regulaci, která byla realizována pomocí klasického PI regulátoru. Schéma regulace je zobrazeno na obrázku 15. Výstup regulátoru přímo ovládá polohu proporcionálního ventilu – komínového hradítka. Regulace tlaku v peci je realizována ve funkčním bloku FB1110 s názvem **_Exhaust**.

Při nastavování a ladění regulace tlaku v peci bylo nutné brát v úvahu fyzickou velikost komínového hradítka. Regulace tak nesměla být příliš rychlá, aby se nepoškodil pohon pro komínové hradítko. A zároveň nesměla být regulace příliš pomalá, aby stíhala reagovat na změny tlaku v peci.



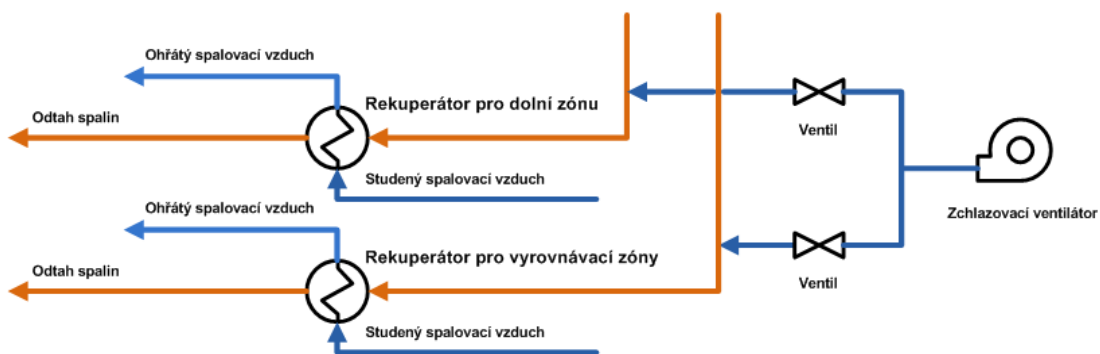
Obrázek 15: Regulace tlaku v peci.

5.5.4. Zchlazování rekuperátorů

Ve funkčním bloku FB1110 s názvem **_Exhaust** je rovněž realizována část zchlazování rekuperátorů. Potrubí, které odvádí spaliny z pece ven směrem do komína, je rozděleno na dvě trasy. Jedna trasa odvádí spaliny ze spodní zóny a trasa druhá odvádí spaliny z vyrovnávacích zón. Na obou trasách jsou nainstalovány rekuperátory, které mají za úkol ohřívat spalovací vzduch pro příslušné zóny. Ohřev spalovacího vzduchu se provádí z důvodu úspory energie. Oba tyto rekuperátory je nutné chránit proti přehřátí a následnému zničení. Teplotu rekuperátorů hlídají snímače teploty před a za rekuperátory. Rozhodující pro ochranu rekuperátorů jsou teploty spalin, které do rekuperátoru vstupují.

Má-li fungovat zchlazování rekuperátorů v automatickém režimu, předpokládá to, přepnutí zchlazovacího ventilátoru a obou ventilů do automatického operačního módu. Překročí-li teplota před rekuperátory předem definovanou mez teploty, která byla stanovena na hodnotu 900°C, automaticky startuje zchlazovací ventilátor. Zchlazovací ventilátor startuje i v případě, kdy je překročena teplotní mez spalovacího vzduchu za rekuperátory. Mez pro teplotu spalovacího vzduchu za rekuperátory byla stanovena na hodnotu 450°C. Po dosažení tlaku na výtlaku zchlazovacího ventilátoru se otevře příslušný ventil, který umožní proudění studeného vzduchu do potrubí, kde proudí spaliny. Tlak na výtlaku zchlazovacího ventilátoru je hlídán tlakovým snímačem – manostatem. Tlak je hlídán z toho důvodu, že v potrubí, kde proudí studený vzduch, je nutné zajistit vyšší tlak než je v potrubí, kde proudí spaliny. V opačném případě by mohlo dojít k tomu, že se spaliny dostanou přes potrubí až ke zchlazovacímu ventilátoru. V okamžiku, kdy teplota spalin před rekuperátorem klesne pod předem stanovenou mez, která byla stanovena na 880°C, uzavře se příslušný ventil a následně se vypne zchlazovací ventilátor. Totéž platí při poklesu teploty spalovacího vzduchu za rekuperátory pod stanovenou mez 400°C. Hraniční teploty jsou v řídicím systému jako parametry a lze je jednoduše upravovat v příslušných VAT tabulkách.

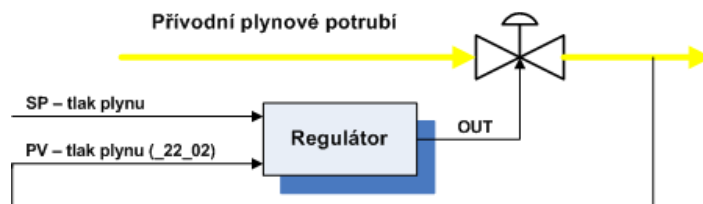
Zchlazování rekuperátoru je možné provozovat i v manuálním operačním módu. Jedná se o specifické situace, které za provozu mohou nastat. V takovém případě je možné ventily i zchlazovací ventilátor ovládat libovolně z přehledové obrazovky vizualizace. Schematické zobrazení zchlazování rekuperátorů je na obrázku 16.



Obrázek 16: Schematické znázornění zchlazování rekuperátorů.

5.5.5. Regulace tlaku plynu na vstupu do pece

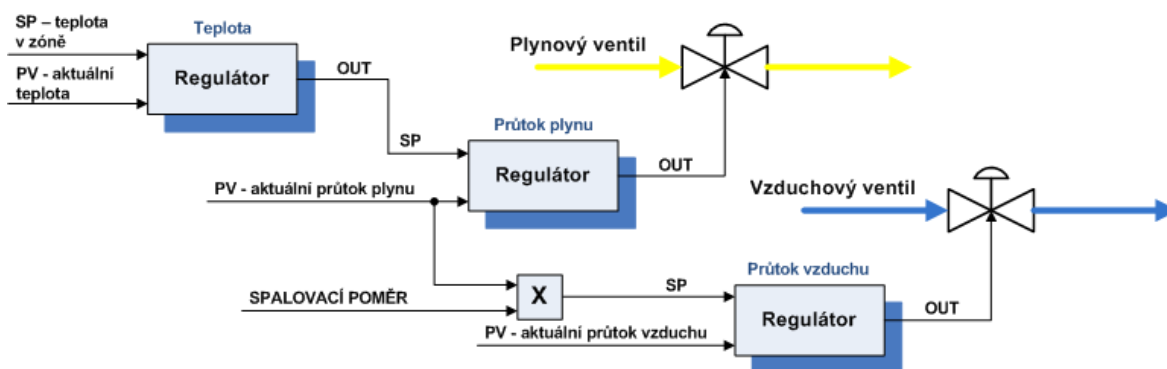
V přívodním plynovém potrubí může kolísat tlak plynu. Na vstupu do pece je však nutné udržovat konstantní tlak plynu. Tato regulace je prováděna pomocí proporcionálního ventilu a klasického PI regulátoru. Schéma regulace tlaku plynu na vstupu do pece zobrazuje obrázek 17. Přívodní plynové potrubí na vstupu do pece je opatřeno analogovým i digitálním měřením tlaku plynu a proporcionálním ventilem. Digitální měření tlaku plynu neslouží pro účely regulace tlaku plynu, ale jedná se o jeden z bezpečnostních prvků. Regulace je realizována ve funkčním bloku FB1130 s názvem **_Furnace**. Žádaná hodnota tlaku plynu na vstupu do pece je zadávána pomocí vizualizace.



Obrázek 17: Schéma regulace tlaku plynu na vstupu do pece.

5.5.6. Regulace teploty v peci

Jak již bylo uvedeno v kapitole věnující se popisu plynové pece, plynová pec se skládá celkem ze čtyř zón. Jedna zóna je spodní a tři zóny jsou vyrovnávací. V každé zóně je teplota regulována samostatně. Žádané hodnoty teplot jsou zadávány pomocí vizualizace. Teplota v jednotlivých zónách je regulována pomocí tří PI regulátorů. Schéma regulace teploty v jednotlivých zónách pece představuje obrázek 18.



Obrázek 18: Schéma regulace teploty v jednotlivých zónách pece.

Je nutné regulovat průtok plynu i průtok vzduchu do pece. Průtoky plynu i vzduchu jsou regulovány pomocí proporčních ventilů, které jsou umístěny na přívodních potrubích. Žádaná teplota v zóně vstupuje do regulátoru teploty, jehož výstupem je žádaná hodnota průtoku plynu pro regulátor průtoku plynu. Jedná se o vlečnou regulaci. Průtok vzduchu je regulován dalším regulátorem. Žádaná hodnota průtoku vzduchu vyplývá z aktuálního průtoku plynu do pece a spalovacího poměru. Jedná o poměrovou regulaci. Přesněji je žádaný průtok vzduchu do zóny dán součinem aktuálního průtoku plynu do zóny a aktuálně nastaveným spalovacím poměrem. Spalovací poměr je možné nastavovat manuálně nebo jej lze počítat podle aktuální výhřevnosti plynu nebo podle množství kyslíku ve spalínách.

Spalovací poměr lze nastavovat pro každou zónu samostatně. Volbu korekce spalovacího poměru lze volit na jedné z obrazovek vizualizační aplikace. K dispozici jsou 3 možnosti. První možností je manuální korekce spalovacího poměru, při této volbě je spalovací poměr nastavován přímo operátorem. V případě, že je nastavena korekce spalovacího poměru podle aktuální výhřevnosti plynu, operátor musí zadat požadovanou hodnotu přebytku vzduchu v jednotlivých zónách. Žádaný spalovací poměr je pak vypočítáván podle následujícího vzorce. Tento vzorec byl součástí funkčního popisu.

$$\text{Spalovací poměr} = (0,1959 * \text{výhřevnost plynu} + 0,1860) * \text{přebytek vzduchu}$$

V případě nastavení třetí možnosti korekce spalovacího poměru, zadává operátor žádanou hodnotu pro obsah kyslíku ve spalínách.

Regulace teploty obsahuje navíc algoritmus (takzvanou křížovou zpětnou vazbu), který hlídá skutečný spalovací poměr. Algoritmus křížové zpětné vazby je aktivní jen v případě, že proporční ventily (pro regulaci průtoku plynu i vzduchu) jsou v automatickém módu. V žádném jiném případě nemá smysl algoritmus aktivovat. V případě, že je některý z proporčních ventilů přepnutý do manuálního operačního módu, je na operátorovi, aby správný spalovací poměr kontroloval.

Algoritmus křížové zpětné vazby funguje tak, že procentuálně vztáhne skutečný spalovací poměr k žádanému spalovacímu poměru. Skutečný spalovací poměr je vypočten jako prostý podíl aktuálního průtoku vzduchu k aktuálnímu průtoku plynu. Za provozu mohou nastat dvě varianty. Skutečný spalovací poměr je příliš vysoký nebo příliš nízký vůči žádanému spalovacímu poměru. Liší-li se skutečný spalovací poměr o více než + 20% oproti žádanému spalovacímu poměru (v peci je více vzduchu a skutečný spalovací poměr je tedy příliš vysoký), je aktivován časovač nastavený na 20 sekund. V případě, že se i po uplynutí časového limitu liší žádaný a skutečný spalovací poměr procentuálně o více, než +20% je zamezeno dalšímu přidávání vzduchu do pece. To je zajištěno nastavením horního limitu pro regulátor, který reguluje průtok vzduchu. Operátor je v takovém případě o vzniklé situaci informován varovnou hláškou ve vizualizační aplikaci.

Totéž platí i pro opačný případ, kdy se skutečný spalovací poměr liší o více než – 20% oproti žádanému spalovacímu poměru (v peci je více plynu a skutečný spalovací poměr je tedy příliš nízký). V takovém případě je opět aktivován časovač nastavený na 20 sekund. A pokud se i po uplynutí časového limitu liší žádaný a skutečný spalovací poměr o více než – 20% je zamezeno dalšímu přidávání plynu do pece. To je opět zajištěno nastavením horního limitu pro regulátor, který reguluje průtok plynu do pece. Operátor je o vzniklé situaci opět informován pomocí vizualizační aplikace.

Algoritmus křížové zpětné vazby je realizován pro každou ze zón pece samostatně. A oba parametry, tedy jak procentuální rozdíl mezi žádaným a skutečným spalovacím poměrem, tak časový limit, je možné libovolně nastavovat spolu s ostatními parametry ve VAT tabulce pro příslušnou zónu.

K rozdílu mezi žádaným a skutečným spalovacím poměrem může docházet například při prudkém zvyšování nebo snižování výkonu pece. K rozdílu může rovněž dojít v případě, kdy se porouchá pohon proporcionálního ventilu, ať již mechanicky nebo elektricky. Proporcionální ventil tak zůstane zaseknutý v určité poloze a dále nereguluje průtok.

5.5.7. Aplikace teplotního modelu

Řídicí systém v PLC byl vytvořen s ohledem na možnost řídit ohřívací plynovou pec pomocí aplikace teplotního modelu. V případě, že je aplikace teplotního modelu aktivní, je nadřazená řídicímu systému v PLC. Aplikace teplotního modelu (někdy označovaná též jako úroveň 2) byla napsána v programovacím jazyce C# a běží na klasickém stolním počítači. Řídicí systém v PLC komunikuje s aplikací teplotního modelu přes síť Ethernet, podobně jako s vizualizační aplikací. Data jsou předávána pomocí vyhrazených komunikačních datových bloků v paměti PLC.

V případě, že je aplikace teplotního modelu aktivní, posílá aktuální žádané hodnoty teplot pro každou ze čtyř zón a také dopřednou vazbu průtoku plynu pro každou zónu. K tomu, aby byla

aplikace teplotního modelu schopna správně pracovat, vyžaduje data z PLC. V následujícím seznamu je uvedeno, co všechno PLC posílá do aplikace teplotního modelu.

Veličiny, které jsou posílány do aplikace teplotního modelu z PLC:

- Teplota v jednotlivých zónách.
- Průtok plynu do jednotlivých zón.
- Průtok spalovacího vzduchu do jednotlivých zón.
- Maximální průtok plynu do jednotlivých zón.
- Maximální povolená změna žádané hodnoty pro teplotu.
- Tlak v peci, teplota v komíně a další měřené hodnoty.

Pro aplikaci teplotního modelu jsou velmi důležité a určující informace také z výstupního pyrometru, který měří teplotu ohřátého sochoru při výstupu z pece. S výstupním pyrometrem komunikuje aplikace teplotního modelu přímo, tato komunikace neprobíhá přes PLC.

Komunikaci mezi PLC a aplikací teplotního modelu zajišťuje funkční blok FB1010 s názvem **_Cmn_PLC_Model**. Spojení je hlídáno pomocí watchdogu. Při přerušení komunikace generuje funkční blok alarmní hlášku.

5.5.8. Bezpečnostní algoritmy

Přívodní plynové potrubí, které přivádí plyn do ohřívací pece, obsahuje dva bezpečnostní plynové uzávěry. Jeden bezpečnostní plynový uzávěr je pro spodní zónu a druhý bezpečnostní plynový uzávěr je společný pro všechny tři vyrovnávací zóny. Tyto bezpečnostní plynové uzávěry slouží pro rychlé odstavení plynové ohřívací pece v případě nesplnění provozních podmínek nebo v případě překročení havarijních mezí. V následujících dvou seznamech jsou uvedeny případy, kdy se bezpečnostní plynové uzávěry zavírají a kdy tedy dochází k odstavení ohřívací plynové pece nebo její části. Všechny tyto podmínky je možné přemostit, a tedy vyřadit z provozu, takzvaným spínačem údržby. Jedná se o spínač, který slouží výhradně pro servisní účely a za běžného provozu by neměl být aktivován.

Programově jsou bezpečnostní algoritmy realizovány ve funkčním bloku FB1130 s názvem **_Furnace**.

Bezpečnostní plynový uzávěr pro spodní zónu se uzavírá v případech:

- Překročení teploty ve spodní zóně nad limit 1350 °C
- Pokles tlaku spalovacího vzduchu pro spodní zónu pod limit 1,2 kPa
- Pokles tlaku plynu (neregulovaný) na vstupu do pece pod limit 0,8 kPa
- Překročení teploty spalín před rekuperátorem nad stanovený limit
- Překročení teploty spalín za rekuperátorem nad stanovený limit

Bezpečnostní plynový uzávěr pro vyrovnávací zóny se uzavírá v případech:

- Překročení teploty ve vyrovnávací zóně 1 nad limit 1390 °C
- Překročení teploty ve vyrovnávací zóně 2 nad limit 1390 °C
- Překročení teploty ve vyrovnávací zóně 3 nad limit 1390 °C
- Pokles tlaku spalovacího vzduchu pro vyrovnávací zóny pod limit 1,2 kPa
- Pokles tlaku plynu (neregulovaný) na vstupu do pece pod limit 0,8 kPa
- Překročení teploty spalin před rekuperátorem nad stanovený limit
- Překročení teploty spalin za rekuperátorem nad stanovený limit

Některé podmínky jsou shodné jak pro jeden, tak pro druhý bezpečnostní plynový uzávěr. Jedná se o pokles tlaku plynu na vstupu do plynové ohřívací pece a také o teploty spalin před a za oběma rekuperátory.

Podmínky, které musí být splněny pro otevření bezpečnostních plynových ventilů, jsou zobrazeny ve dvou vyskakovacích oknech, které lze vyvolat na přehledové obrazovce pece. Pro každý bezpečnostní plynový ventil bylo vytvořeno jedno vyskakovací okno, kde jsou všechny podmínky přehledně zobrazeny. V případě, že dojde k překročení některé z havarijních mezí, a tedy k uzavření bezpečnostního plynového uzávěru, je operátor o tomto stavu informován pomocí alarmní hlášky ve vizualizační aplikaci a pomocí houkačky.

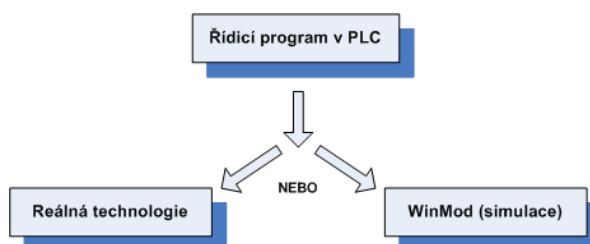
Z důvodu bezpečnosti byly tyto bezpečnostní algoritmy odzkoušeny s revizním plynovým technikem firmy ArcelorMittal Ostrava a.s. a nakonec i se zástupcem Technické inspekce České republiky (TICR).

6. Simulace a testování

Testování PLC programu je pro rychlé a bezproblémové uvedení do provozu velmi důležité. PLC program lze otestovat a odladit v pohodlí kanceláře a na stavbě při finálním uvádění do provozu se tak lze vyhnout zdoluhavému procesu ladění a zkoušení. Je však jasné, že finálnímu odladění PLC programu musí dojít až na stavbě při uvádění do provozu. Nikdy totiž nelze technologický proces, jenž se má řídit, simulovat úplně přesně. A reálný technologický proces se vždy může chovat trochu odlišně, než se dalo předpokládat. I tak testování PLC programu pomocí simulace výrazně zkrátí dobu nutnou pro uvádění do provozu, což se pozitivně i projeví na ekonomické stránce věci.

Jaké metody a způsoby lze tedy k simulaci a ladění použít? Jednou z možností, kterou lze použít, je využití VAT tabulky. Další možností, která nabízí sofistikovanější možnosti simulace, je využití nějakého simulačního softwaru. Takovou možnost nabízí například software s názvem WinMOD. Jedná se o produkt německé firmy Mewes & Partner GmbH. Tento software funguje takovým způsobem, že dokáže simulovat reálné vstupy a výstupy. Velká výhoda simulačního softwaru spočívá v možnosti vytvářet logiku simulace. V simulačním softwaru WinMOD lze k tvorbě simulace využívat matematické funkce, logické funkce, časové funkce nebo tabulky naměřených hodnot. Výhodou je, že lze vytvořit makra, která pak mohou simulovat například ventily nebo motory.

Tou největší výhodou je však možnost vývoje řídicího systému, který již není nutné nijak upravovat, ani nově adresovat při připojení k reálné technologii nebo zařízení. Situaci znázorňuje obrázek 19 níže v textu. Pro doplnění možno dodat, že simulační software WinMOD je aplikace běžící na klasickém stolním počítači pod operačním systémem Microsoft Windows. Stolní počítač musí být vybaven rozšiřující komunikační kartou s Profibus rozhraním.

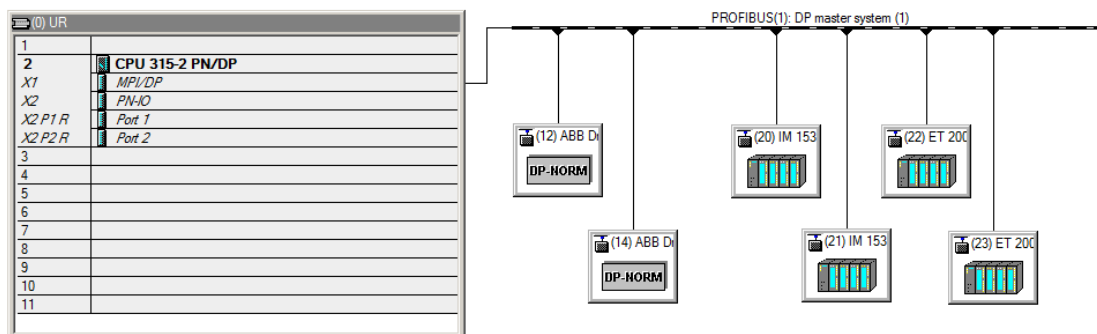


Obrázek 19: Reálná technologie nebo simulace.

6.1. Simulační hardwarová konfigurace

Tvorba simulační aplikace začíná založením nového projektu. Po založení nového projektu bylo nutné vytvořit hardwarovou konfiguraci. Hardwarová konfigurace pro simulaci vychází z hardwarové konfigurace PLC. Hardwarovou konfiguraci lze vytvořit ručně nebo využít možnosti importu hardwarové konfigurace.

Simulační software WinMOD je schopen simulovat pouze vstupy a výstupy, které jsou k PLC připojeny přes sběrnici Profibus. V reálném projektu byly však použity vstupně / výstupní karty připojené přímo k programovatelnému automatu. V PLC tak byla vytvořena simulační hardwarová konfigurace, která zachovala stávající adresy a použila moduly ET200S připojené k PLC pomocí sběrnice Profibus.



Obrázek 20: Simulační hardwarová konfigurace v PLC.

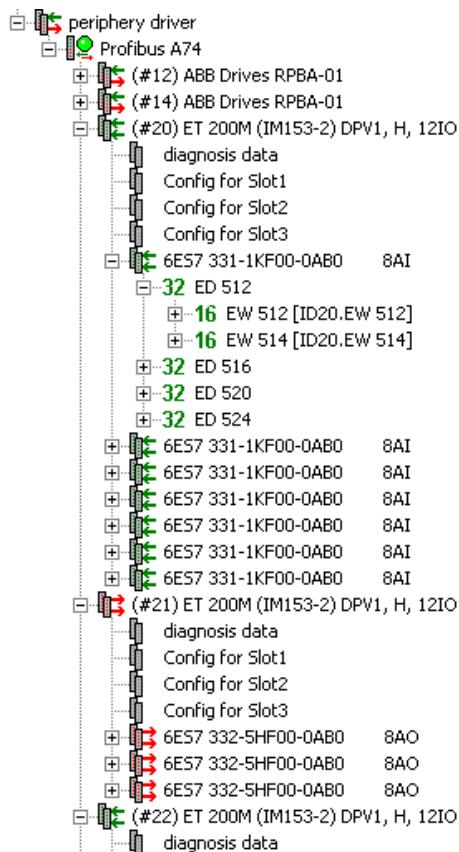
Z vývojového prostředí Step7 byla tato simulační hardwarová konfigurace exportována v podobě souboru s příponou *.cfg. Soubor s příponou *.cfg je strukturovaný textový soubor, který obsahuje všechny informace o hardwarové konfiguraci. Krátký náhled na to, jak tento soubor vypadá, zobrazuje obrázek 21. Vyexportovaný soubor *.cfg byl pak použit pro import hardwarové konfigurace v softwaru WinMOD.

```
600 DPSUBSYSTEM 1, DPADDRESS 20, SLOT 4, "6ES7 331-1KF00-0AB0", "AI8x13Bit"
601 BEGIN
602   ASSET_ID "F2832758353E42828BE240EE7AD53A8F"
603   PROFIBUSADDRESS "0"
604   CPU_NO "1"
605   ALARM_OB_NO "40"
606   OBJECT_REMOVEABLE "1"
607   POS_X "0"
608   POS_Y "0"
609   SIZE_X "0"
610   MODULE_ADD_FLAGS "0"
611   SIZE_Y "0"
612   CAX_APP_ID ""
613   OBJECT_COPYABLE "1"
614   CREATOR ""
615   COMMENT ""
616 LOCAL_IN_ADDRESSES
617   ADDRESS 512, 0, 16, 0, 1, 0
618 SYMBOL I, 0, "IW_15_02", "Teplota bram na výstupu A"
619 SYMBOL I, 1, "IW_16_02", "Teplota bram na výstupu B"
620 SYMBOL I, 2, "IW_SPARE_516", "Rezerva"
621 SYMBOL I, 3, "IW_SPARE_518", "Rezerva"
622 SYMBOL I, 4, "IW_SPARE_520", "Rezerva"
623 SYMBOL I, 5, "IW_SPARE_522", "Rezerva"
624 SYMBOL I, 6, "IW_SPARE_524", "Rezerva"
625 SYMBOL I, 7, "IW_SPARE_526", "Rezerva"
626 END
```

Obrázek 21: Detail exportu hardwarové konfigurace PLC.

Náhled vytvořené hardwarové konfigurace v simulačním softwaru WinMOD je na obrázku 22. Zelenou barvou jsou označeny vstupy a červenou barvou výstupy (vždy bráno z pohledu PLC).

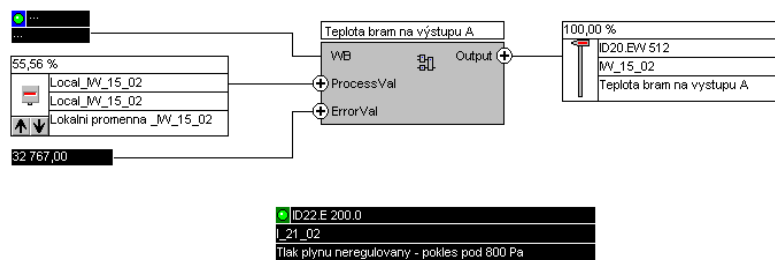
Po úspěšném importu hardwarové konfigurace byly do simulační aplikace pro jednotlivé vstupy a výstupy vloženy symbolické adresy a pro lepší orientaci i komentáře. Symbolické adresy a komentáře byly použity stejné jako v PLC.



Obrázek 22: Hardwarová konfigurace v simulačním softwaru WinMOD.

6.2. Simulace analogových a digitálních signálů

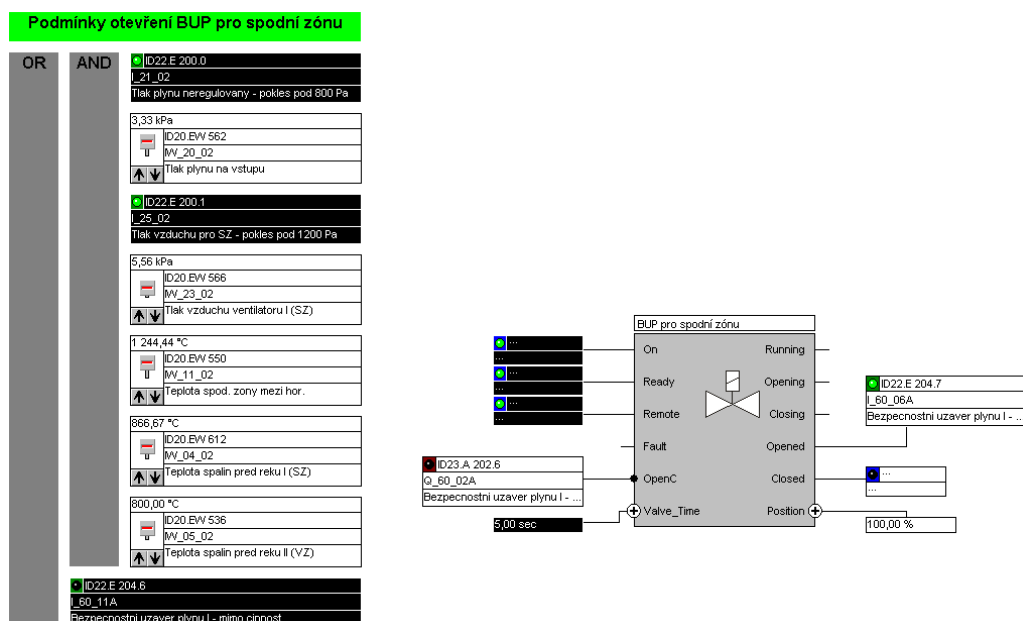
Pro tvorbu logiky simulační aplikace byly použity objekty z knihovny a připravená makra. Simulování digitálních vstupů je prosté, spočívá v pouhém vytažení vstupu do simulačního okna. Simulaci digitálního vstupu ilustruje obrázek 23. U simulování analogových vstupů bylo použito makro, které dokáže simulovat přerušenou smyčku. Makro pro simulování analogových vstupů je zobrazeno na obrázku 23. Přerušování proudové smyčky je simulováno nastavením analogového vstupu na hodnotu 32676. Taková hodnota analogového vstupu je pak v PLC vyhodnocena jako přerušování měřící smyčky. Aby bylo možné takto simulovat přerušování smyčky, byly vytvořeny lokální proměnné, které odpovídají příslušným analogovým vstupům.



Obrázek 23: Simulace analogových a digitálních vstupů.

6.3. Simulace bezpečnostních algoritmů

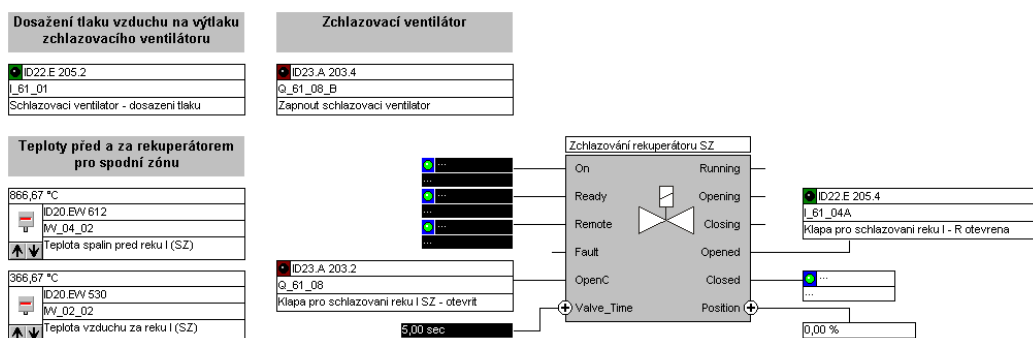
Správná funkčnost bezpečnostních algoritmů je pro plynovou ohřívací pec velmi důležitá. Bezpečnostní plynové uzávěry jsou ve skutečnosti ventily na plynovém potrubí, které v případě uzavření zamezí proudění plynu směrem do pece. K simulaci byly použity makra pro ventil s jedním koncovým snímačem pro otevřenou polohu. Náhled simulace bezpečnostních algoritmů pro spodní zónu je na obrázku 24. Simulace bezpečnostních algoritmů pro vyrovnávací zóny je principiálně stejná, obsahuje jen jiné podmínky.



Obrázek 24: Simulace bezpečnostních algoritmů pro spodní zónu.

6.4. Simulace zchlazování rekuperátorů

Rekuperátory slouží pro ohřev spalovacího vzduchu. Teplo spalovacímu vzduchu předávají spaliny, které proudí do z pece do komína. Rekuperátory je nutné chránit před přehřátím. Simulace pro zchlazování rekuperátorů je na obrázku 25. K simulaci bylo použito makro pro ventil. Simulování samotného ventilátoru nebylo možné, protože do řídicího systému není zavedena zpětná vazba o tom, že ventilátor běží. V případě, že by tato zpětná vazba byla do řídicího systému zavedena, znamenalo by to z pohledu simulace jedině. A to nastavení zpětné vazby na hodnotu log. 1 po krátké časové prodlevě od zapnutí ventilátoru.



Obrázek 25: Simulace zchlazování rekuperátoru pro spodní zónu.

7. Vizualizace

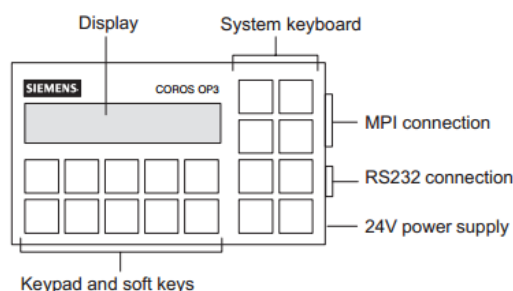
Programovatelný automat PLC slouží pro řízení technologického procesu, vizualizace (HMI, SCADA) pak slouží pro zobrazování a monitorování technologického procesu. S pomocí vizualizace lze mnohem lépe jakýkoliv technologický proces řídit. Nejen že na vizualizaci lze vidět názorně rozkreslenou technologii, lze vidět také všechny řízené objekty a jejich stavy.

Typy objektů:

- Pohony – motory, ventily, ventilátory, čerpadla, atd.
- Analogová měření
- Digitální měření

Na vizualizaci je možné přehledně zobrazovat alarmy, události nebo například stavy různých sekvencí. To vše umožňuje operátorovi lépe a pohodlněji řídit technologii. Zároveň při různých poruchách slouží alarmy, události a trendy jako výkonný pomocník při hledání vzniklé poruchy či závady.

Vizualizace může mít více forem. Může se jednat o textové displeje, které jsou nejjednodušším nástrojem vizualizace. Pomocí textových displejů je možné pouze vypisovat informace na displej, nelze tedy pomocí nich řídit technologii. Textový displej najde například uplatnění tam, kde je nutné vypisovat stavy (kroky) různých sekvencí a podobně. Další formou vizualizace jsou operátorské panely, které kromě displeje obsahují i tlačítka. A to tlačítka jak systémové, které mají pevně stanovenou funkci, tak i tlačítka funkční, kterým lze požadovanou funkci nastavit. Tyto panely se tak dají s výhodou použít přímo v místě technologie (ovládaného celku), kde pomocí tohoto panelu lze upravovat žádané hodnoty veličin, zobrazovat varování a alarmy. Operátorské panely jsou schopné komunikovat pomocí sériové komunikace RS323, pomocí MPI nebo například pomocí sběrnice Profibus. Jak může takový operátorský panel vypadat, zobrazuje níže obrázek 26.



Obrázek 26: Operátorský panel Siemens OP3 [14].

Další formou vizualizace jsou dotykové panely. Dotykové panely jsou konstruovány tak, aby je bylo možné zabudovat například do rozvaděče nebo přímo do operátorského pultu. Jedná se tedy o zařízení, která jsou velmi odolná, mají vysoké krytí a velký rozsah pracovních teplot. Na

dotykových panelech může běžet jednoduchá grafická vizualizační aplikace. Dotykové panely komunikují pomocí Ethernetu, sériové linky RS232 / RS485 nebo sběrnice USB.

Nejvíce možností poskytují počítačové vizualizace. Počítačová vizualizace, jak již samotný název napovídá, funguje na klasických stolních počítačích s operačním systémem Microsoft Windows, na kterých běží vizualizační aplikace. Vizualizace tohoto typu jsou umístěny většinou v kabinách operátorů a na velínech. Počítače, ani monitory, tak nejsou vystavovány agresivnějšímu průmyslovému prostředí. Tyto vizualizace jsou už schopny pokrýt kompletní spektrum od zobrazování hodnot analogových měření, stavů pohonů, reálných trendů, alarmů nebo například událostí, dokážou spolupracovat s databázemi a archivovat naměřená data. U velkých projektů se s výhodou využívá dvou – monitorového systému, kdy na jednom monitoru jsou hlavní obrazovky vizualizace, a na druhém monitoru jsou ostatní (pomocné) obrazovky vizualizace. Velmi výhodná je rovněž možnost psaní skriptů v programovacích jazycích VBS, C nebo javascript.

Stejně jako je více výrobců programovatelných automatů, je i více výrobců vizualizačních softwarů. Většinou každý velký výrobce programovatelných automatů vyvíjí a prodává i svůj vlastní vizualizační software. V následujícím seznamu jsou uvedeny nejrozšířenější softwary pro tvorbu vizualizací. Na závěr seznamu jsou uvedeny dvě české firmy, které se zabývají vývojem vizualizačního softwaru.

Nejrozšířenější softwary pro tvorbu vizualizací:

- WinCC
- InTouch
- Factory Talk
- Microsys Promotic
- MIControlWeb

7.1. Tvorba vizualizační aplikace

Vizualizační aplikace pro tuto práci byla vytvořena v prostředí Microsys Promotic. Software Microsys Promotic je vyvíjen českou firmou Microsys. Tento software byl zvolen zákazníkem s ohledem na celkovou cenu.

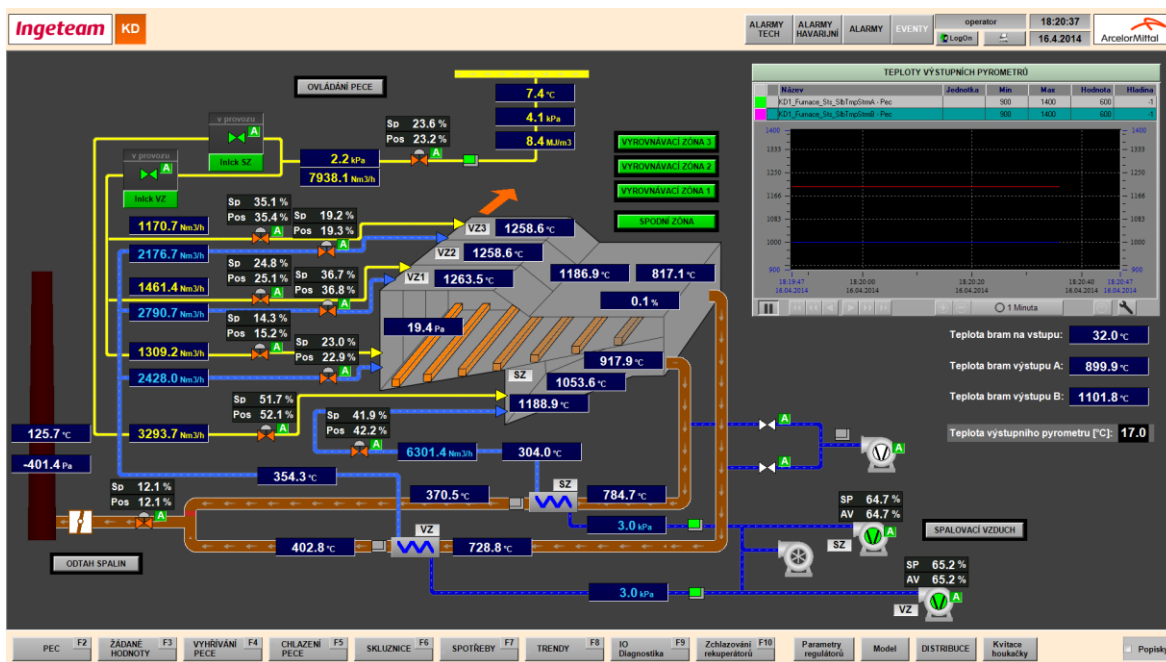
Jedním z prvních kroků v tvorbě vizualizační aplikace bylo rozvržení obrazovek. Na rozvržení obrazovek je nutné brát zřetel již při tvorbě definiční listiny PLC. Obrazovky musí být rozvrženy tak, aby vždy komplexně zobrazovaly danou část technologie. V následujícím seznamu jsou uvedeny všechny obrazovky, které byly vytvořeny. U každé z obrazovek je uveden vždy krátký popis.

Vizualizační aplikace obsahuje tyto obrazovky:

- Pec – hlavní technologické schéma plynové ohřívací pece, na této obrazovce jsou zobrazeny všechny důležité měřené hodnoty a všechny pohony.
- Žádané hodnoty – obrazovka, která slouží pro nastavování žádaných hodnot pro teploty, maximální průtoky plynu, spalovacích poměrů a dalších žádaných hodnot.
- Vyhřívání pece – obrazovka, pomocí které lze nastavit parametry pro vyhřívání pece.
- Chlazení pece – obrazovka, pomocí které lze nastavit parametry pro chlazení pece.
- Skluznice – na této obrazovce lze monitorovat stav skluznic a jejich správné chlazení.
- Spotřeba – obrazovka, která slouží k zobrazování spotřeby plynu.
- Trendy – na této obrazovce jsou k dispozici reálné i historické trendy.
- IO diagnostika – na obrazovce jsou k dispozici stavy všech analogových a digitálních vstupů a výstupů, dále jsou pak zde zobrazeny statusy PLC.
- Zchlazování rekuperátorů – obrazovka, která zobrazuje detail zchlazování rekuperátorů.
- Parametry regulátorů – tato obrazovka slouží k nastavování parametrů pro všechny regulátory.
- Distribuce – na této obrazovce jsou zobrazeny prvky napájení (jsou zde zobrazeny stavy jističů).

Každá obrazovka vizualizační aplikace obsahuje ještě horní a spodní lištu. Horní lišta je vždy viditelná a je stejná pro všechny obrazovky vizualizační aplikace. Horní lišta slouží k zobrazení statusů bezpečnostních plynových uzávěrů. Tím, že jsou tyto statusy zobrazeny v horní liště, je dosaženo toho, že jsou viditelné z kterékoliv obrazovky vizualizační aplikace. Operátor je tak vždy patřičně upozorněn na to, v jakém stavu se bezpečnostní plynové uzávěry nacházejí. Horní lišta má také další důležitou funkci. Pomocí ní je možné se do vizualizační aplikace přihlásit jako daný uživatel. Uživatelé a uživatelská práva jsou popsána v jedné z dalších kapitol. V neposlední řadě je na horní liště zobrazen aktuální datum a čas.

Spodní lišta slouží pro přepínání mezi jednotlivými obrazovkami. Jsou zde v řadě zobrazena tlačítka pro přepnutí na kteroukoliv obrazovku v rámci vizualizační aplikace. V pravém rohu spodní lišty se nachází tlačítko pro kvitování houkačky a také status, který informuje o aktivování spínače údržby.



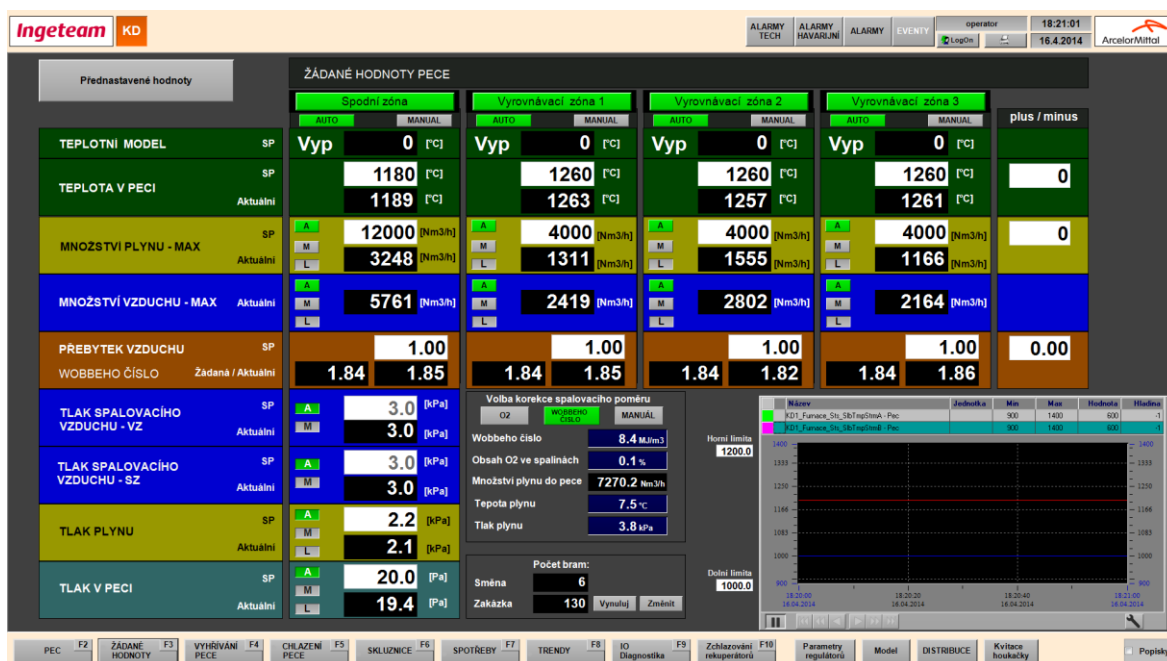
Obrázek 27: Přehledová obrazovka pece.

7.1.1. Hlavní obrazovky

Seznam všech hlavních obrazovek je s krátkým popisem uveden v předešlé kapitole. Z hlediska řízení plynové ohřívací pece jsou nejdůležitější dvě obrazovky, přehledová obrazovka pece a obrazovka žádaných hodnot. Přehledová obrazovka pece je zobrazena na obrázku 27 v předchozí kapitole a obrazovka žádaných hodnot je na obrázku 28 níže v textu.

Přehledová obrazovka pece zobrazuje komplexně celou technologii plynové ohřívací pece. Ve středu obrazovky je znázorněna plynová ohřívací pec. Na obrazovce je schematicky naznačeno potrubí pro plyn, vzduch a spaliny. Potrubí na obrazovce jsou barevně označena, tak aby na první pohled bylo zřejmé, které potrubí je pro plyn, a které potrubí je vzduch, a které potrubí je pro spaliny. Plynové potrubí je zvýrazněno žlutou barvou, vzduchové potrubí je zvýrazněno barvou modrou. Potrubí znázorňující odtah spalin má hnědou barvu. Na přehledové obrazovce jsou také všechna důležitá tlačítka, která slouží pro ovládání plynové ohřívací pece.

Obrazovka žádaných hodnot byla vytvořena z velmi prostého důvodu. A to takového, aby ovládání pece bylo co možná nejjednodušší a bylo možné nastavovat všechny důležité parametry a žádané hodnoty z jediného místa. Na obrazovce lze nastavovat žádané hodnoty teploty, maximálního průtoku plynu a spalovací poměr pro každou ze čtyř zón pece. Dále pak žádané hodnoty tlaku plynu na vstupu do pece, tlaku v peci a tlaku spalovacího vzduchu.



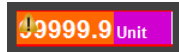


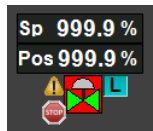

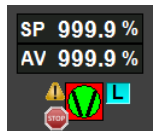
Obrázek 28: Obrazovka pro nastavování žádaných hodnot.

Všechny hlavní obrazovky vytvořené vizualizační aplikace jsou uvedeny na konci této práce v příloze.

7.1.2. Ikony objektů

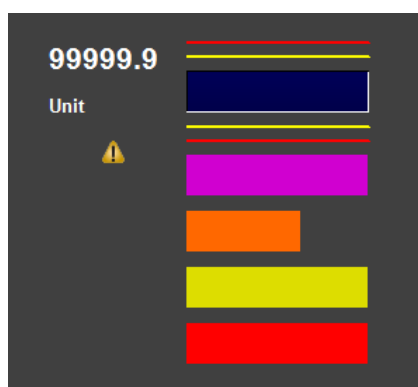
Na hlavních obrazovkách jsou použité ikony. Ikona představuje zástupce každého objektu, přesně podle definiční listiny PLC. Každý typ objektu má svou ikonu, která zobrazuje informace o daném objektu. Celkem bylo vytvořeno 6 ikon (analogové měření, digitální měření, ventil, proporcionální ventil, ventilátor a ventilátor s měničem).

Všechny ikony byly vytvořeny z většího množství dílčích objektů, které se vzájemně vhodně překrývají. Například ikona proporcionálního ventilu je složena z 20 dílčích objektů. Samotná ikona tyto dílčí objekty sdružuje do jedné skupiny – nadřazeného objektu. Ikona pak funguje tak, že se podle aktuálního stavu zařízení mění vlastnosti jednotlivých dílčích objektů. Vlastnostmi se myslí například barva, viditelnost, číselná hodnota nebo například text.

Analogové měření:	
Digitální měření:	
Ventil:	
Proporcionální ventil:	
Ventilátor:	
Ventilátor s měničem:	

Tabulka 10: Všechny vytvořené ikony.

Jakým způsobem byly ikony vytvořeny a jak fungují, je popsáno na ikoně pro analogové měření. Obrázek 29 ilustruje, jak vypadá ikona analogového měření rozložená na dílčí objekty. Ikona obsahuje celkem 11 dílčích objektů. Nadřazený objekt, do kterého jsou dílčí objekty sdruženy, obsahuje interní proměnnou datového typu string. Hodnota této interní proměnné obsahuje vždy první část z názvu Tagu. Hodnota této proměnné je přenesena do všech dílčích objektů, kde je následně složen celý Tag. Tagy pro každý objekt byly vygenerovány podle obou definičních listin a slouží k napojení na správné objekty v PLC (datové bloky).



Obrázek 29: Ikona analogového měření rozložena na jednotlivé objekty.

První část z názvu Tagu obsahuje konkrétní číslo datového bloku (dáno definiční listinou PLC). Druhá část z názvu Tagu obsahuje konkrétní pozici v datovém bloku (dáno definiční listinou MAIN). Jakým způsobem jsou Tagy složeny, je zobrazeno v tabulce 11. Příklad je uveden pro Tag, který obsahuje hodnotu analogového měření teploty spalin v komíně.

Tag:	_14_02_Sts_Val
První část Tagu:	_14_02 (= DB2154)
Druhá část Tagu:	_Sts_Val (= DBD286)

Tabulka 11: Ukázka skládání částí Tagů dohromady.

Dílčí objekty, které obsahuje ikona analogového měření:

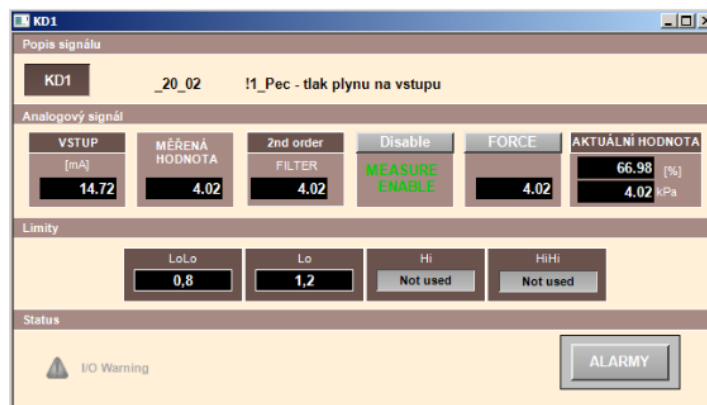
- hodnotu měření
- fyzikální jednotku
- dosažení horního limitu – varování
- dosažení horního limitu – porucha
- dosažení dolního limitu – varování
- dosažení dolního limitu – porucha
- varování
- porucha
- porucha vstupu nebo výstupu
- nastavení hodnoty (force)

Použití takovýchto ikon je podmíněno objektově orientovaným přístupem programování. V PLC existuje jeden funkční blok pro analogové měření. Tomuto funkčnímu bloku jsou přiřazovány datové bloky (místa v paměti PLC). Díky existenci jediného funkčního bloku mají všechny datové bloky stejnou datovou strukturu. Podobného principu využívají i vyskakovací okna, která jsou popsána v následující kapitole.

7.1.3. Vyskakovací okna

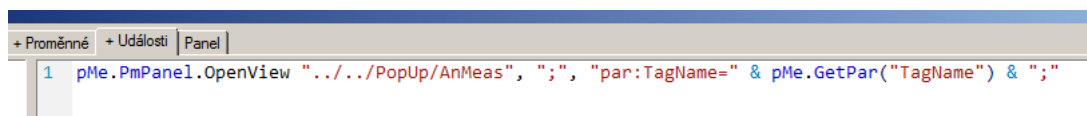
Ikona na obrazovce nedokáže zobrazit všechny statusy (stavy daného zařízení), které se v PLC vyhodnocují. A tak každý typ objektu má navíc své vyskakovací okno (pop-up). Vyskakovací okno se otevře vždy po kliknutí levým tlačítkem myši na ikonu. Na obrázku 30 níže je zobrazeno vyskakovací okno pro analogové měření. To nejdůležitější, co obsahuje vyskakovací okno navíc oproti ikoně je tlačítko alarmů, které po kliknutí zobrazí alarmní hlášky vztažené k tomuto objektu. Vyskakovací okno analogového měření například dále zobrazuje nastavení horních a dolních limit pro varování a poruchy nebo hodnotu analogového vstupu přímo v miliampérech.

Vyskakovací okna, která jsou určena pro pohony (ventil, proporcionální ventil, ventilátor, ventilátor s měničem), obsahují oproti ikoně navíc hlavně příkazy pro přepínání operačních módů. A také příkazy otevření nebo zavření, případně pro zapnutí nebo vypnutí.



Obrázek 30: Vyskakovací okno analogového měření.

Vyskakovací okna jsou tvořena podobně jako ikony, tedy pro každý typ objektu je vytvořeno jedno vyskakovací okno. Při otevírání vyskakovacího okna je vždy zavolán skript, který vyskakovacímu oknu předá první část z názvu Tagu. Co je myšleno první částí z názvu Tagu, je popsáno v předchozí kapitole. Tímto je zaručeno, že vyskakovací okno zobrazí informace vztažené k objektu, na který bylo kliknuto. Podobně jako u ikony je dynamicky měněno číslo datového bloku, ze kterého se mají načíst data. Náhled skriptu je na obrázku 31.



Obrázek 31: Skript pro volání vyskakovacího okna.

7.1.4. Uživatelé a uživatelská práva

Vizualizační aplikace umožňuje nejen řídit danou technologii, v tomto případě plynovou ohřívací plynovou pec, ale také nastavovat parametry řídicího systému. Neodborný zásah nebo nevhodná změna parametrů řídicího systému by mohla mít za následek rozkmitání regulací nebo úplné vyřazení pece z provozu pomocí uzavření bezpečnostních uzávěrů plynu. Z tohoto důvodu je nutné vizualizační aplikaci zabezpečit.

Ve vizualizační aplikaci byly vytvořeny dva uživatelské účty. Jednotlivé uživatele s krátkým popisem jejich práv zobrazuje následující seznam. K přihlášení uživatelů slouží tlačítko umístěné v horní liště.

Vytvořené uživatelské účty:

- Operátor – Tento uživatelský účet slouží pro běžnou obsluhu řídicího systému operátory. V normálním provozním stavu je vždy přihlášen tento uživatel. Uživatelská práva operátora jsou omezena. Je-li uživatel přihlášen jako operátor nemá umožněno například měnit parametry PID regulátorů nebo nastavovat některé další žádané hodnoty.
- Servis – Uživatelský účet servis je určen pro údržbu. Uživatel, který je přihlášený jako servis má nastavená plná práva. Může tedy nastavovat a měnit veškeré žádané hodnoty a parametry.

Stolní počítač, na kterém vizualizační aplikace běží, byl rovněž zabezpečen pomocí uživatelských účtů. Po přihlášení do operačního systému jako operátor se automaticky spustí vizualizační aplikace. Zároveň se spuštěním vizualizační aplikace jsou zakázány všechny standardní způsoby pro vypnutí vizualizační aplikace (klávesové zkratky ALT + F4, ALT + TAB a další).

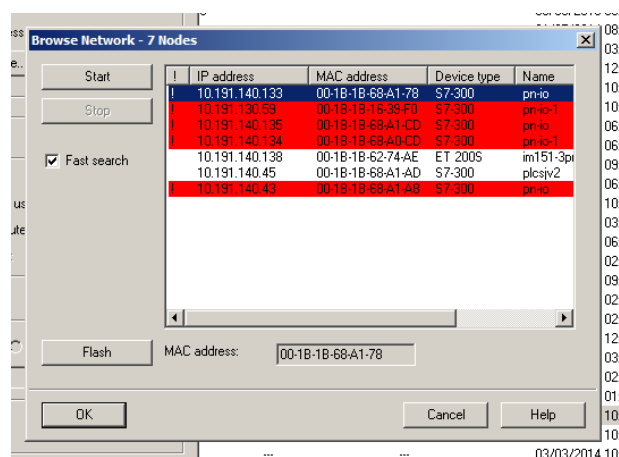
8. Uvádění do provozu

Po vytvoření a odladění PLC programu a vizualizační aplikace na firmě byl řídicí systém uveden do provozu. Uvádění do provozu probíhalo v únoru roku 2014 a celý řídicí systém byl uveden do ostrého provozu za necelých 14 dní, avšak následné nastavování a ladění všech regulací zabralo mnohem delší dobu. Za takto krátký čas bylo řídicí systém možné nasadit díky dobré připravenosti a otestování částí řídicího systému pomocí simulace.



Obrázek 32: PLC nainstalované v rozvaděči při uvádění do provozu.

Jedním z prvních úkolů při ožívování nového řídicího systému bylo nastavení IP adresy pro programovatelný automat. Programovatelný automat má z výroby nastavenou základní IP adresu (0.0.0.0). Aby bylo možné spustit PLC v podnikové síti firmy ArcelorMittal Ostrava a.s., byla IP adresa změněna (10.191.140.135). Při nahrávání nové IP adresy do PLC bylo vhodné dbát opatrnosti, aby nebyla změněna IP adresa jiného PLC, které funguje ve stejné síti. Jako kontrola může sloužit porovnání MAC adres nebo využití funkce s názvem FLASH, kdy je možné rozblikat LED diody na aktuálně připojeném PLC. Nastavování IP adresy je znázorněno na obrázku 33.



Obrázek 33: Nastavení IP adresy v pro PLC.

Po úspěšném nastavení IP adresy a nahrání hardwarové konfigurace PLC bylo možné přistoupit k dalšímu kroku, a to ke kontrole vstupů a výstupů. Kontrola vstupů a výstupů (I/O check) byla velmi důležitá, protože by hned na začátku uvádění do provozu odhalila případné chyby v elektrickém zapojení nebo chyby v hardwarové konfiguraci PLC. Pro kontrolu vstupů a výstupů byly připraveny VAT tabulky se všemi analogovými a digitálními vstupy a výstupy.

25	Q	203.0	"Q_60_02B"	BOOL	false	//ok
26	Q	203.1	"Q_SPARE_203_1"	BOOL	false	//spare
27	Q	203.2	"Q_61_08"	BOOL	false	//ok
28	Q	203.3	"Q_61_03B"	BOOL	false	//ok
29	Q	203.4	"Q_61_08_B"	BOOL	false	//ok
30	Q	203.5	"Q_SPARE_203_5"	BOOL	false	//spare
31	Q	203.6	"Q_SPARE_203_6"	BOOL	false	//spare
32	Q	203.7	"Q_SPARE_203_7"	BOOL	false	//spare
33	Q	204.0	"Q_70_01"	BOOL	false	//ok
34	Q	204.1	"Q_70_03"	BOOL	true	true
35	Q	204.2	"Q_70_04"	BOOL	false	
36	Q	204.3	"Q_SPARE_204_3"	BOOL	false	
37	Q	204.4	"Q_SPARE_204_4"	BOOL	false	

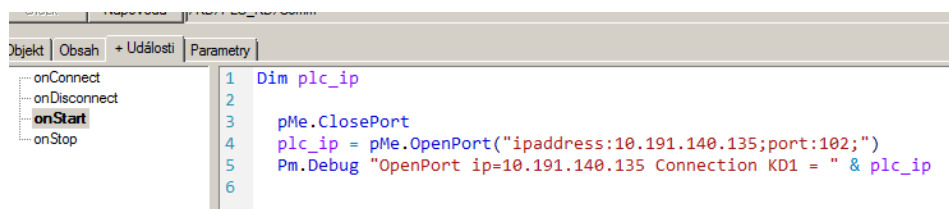
Obrázek 34: VAT tabulka pro testování digitálních výstupů.

Obrázek 34 výše v textu zobrazuje část VAT tabulky, která byla použita při kontrole vstupů a výstupů. Konkrétně zobrazuje část digitálních výstupů. U testování digitálních výstupů bylo potřeba dát pozor, jestli v PLC byl již nahráný program a jestli se vykonával. V takovém případě by mohl vykonávaný program přepisovat námi nastavené hodnoty digitálních výstupů ve VAT tabulce. U testování digitálních výstupů se obvykle kontroluje pouze to, zdali příslušný digitální výstup spíná patřičné relé.

Po úspěšné kontrole vstupů a výstupů bylo možné přistoupit k nahrání programu do PLC. Však před nahráním kompletního programu je dobré provést kontrolu, že je paměť pro program v PLC prázdná a PLC tak neobsahuje zbytky starého programu. Starý program jednak zbytečně zabírá místo v paměti PLC, ale hlavně mohl by negativně ovlivňovat aktuální řídicí systém.

Po nahrání programu do PLC byly nastaveny parametry všech analogových i digitálních měření. Parametry se myslí hlavně rozsahy měření nebo například časové prodlevy pro generování varování a alarmů. Tuto část uvádění do provozu bylo již vhodné testovat společně s vizualizační aplikací. To proto, že bylo hned zkontrolovat, zda analogová nebo digitální hodnota dorazila správně až do vizualizační aplikace. Postupně byla odzkoušena všechna analogová a digitální měření. Stejně tak byly odzkoušeny všechny pohony a jejich zpětné vazby.

Stejně jako bylo nutné nastavit IP adresu pro PLC, bylo nutné nastavit IP adresu pro stolní počítač, na kterém běží vizualizační aplikace. To však není všechno, ve vizualizační aplikaci bylo třeba nastavit IP adresu PLC, se kterým má vizualizační aplikace komunikovat. Spolu s IP adresou bylo nastaveno i číslo racku a číslo slotu, ve kterém je CPU. Obě nastavení jsou vidět na obrázku 35 a obrázku 36 níže v textu.



Obrázek 35: Nastavení IP adresy PLC.

Parametry protokolu		
Hodnota	Popis	
Ethernet ISOonTCP Standard (for S7-300/400/1200...)	Typ komunikace	
0	Rack (0-7)	
2	CPU Slot (0-31)	

Obrázek 36: Nastavení pro rack a slot.

Ve chvíli kdy korektně fungovala všechna analogová a digitální měření a také všechny pohony v manuálním a lokálním operačním módu bylo přistoupeno k postupnému spouštění automatického řízení.

Před spouštěním automatického řízení byly konstanty regulátorů nastaveny tak, aby byly všechny regulace velmi pomalé. Tím bylo zajištěno, že regulátory nezačaly hned kmitat. Regulace byly spouštěny postupně. V jednotlivých zónách byla, jako první spuštěna regulace průtoku vzduchu. To proto, že regulace průtoku vzduchu je nejvíce vnořená regulační smyčka. Průtok vzduchu musí s dostatečnou rychlostí kopírovat skutečný průtok plynu. Průtok plynu byl v manuálním módu skokově měněn a byla sledována odezva průtoku vzduchu. Regulace průtoku vzduchu tak byla postupně nastavována a laděna až na požadovanou úroveň. Poté byla spuštěna i regulace průtoku plynu do jednotlivých zón a regulace teploty.

Nastavování a ladění konstant regulátorů bylo konzultováno s odborníkem, který má s uváděním průmyslových ohřívacích pecí do provozu velké zkušenosti. Jako přibližná reference pro nastavování a ladění konstant všech regulací pak byly brány další dvě plynové ohřívací pece. Tyto další dvě plynové ohřívací pece slouží rovněž pro ohřev sochorů a mají velmi podobné parametry.

Před ostrým spuštěním řídicího systému do provozu a tedy začátkem výroby, byly otestovány bezpečnostní algoritmy, které jsou popsány v páté kapitole této práce. Bezpečnostní algoritmy byly vyzkoušeny nejprve nanečisto bez zapálené pece a bez přítomnosti plynu. Po úspěšném testu nanečisto byla plynová ohřívací pec zapálena. V průběhu testovacího provozu pece byly testy bezpečnostních algoritmů provedeny ještě jednou na čisto, a to se zástupcem Technické inspekce České republiky (TIČR).

8.1. Identifikace plynové ohřívací pece

V průběhu uvádění do provozu byla provedena alespoň částečná identifikace plynové ohřívací pece. Konkrétně v této kapitole je uveden postup a výsledek identifikace třetí vyrovnávací zóny. Pro identifikaci a určení konstant regulátoru byla použita Ziegler – Nicholsova metoda. Jedná se o metodu, která vychází z experimentálně zjištěných hodnot naměřených na soustavě, tedy reálné plynové ohřívací peci. Tato metoda spočívá v tom, že se pomocí zvyšování zesílení proporcionální složky K_p dosáhne meze stability. Takové zesílení se nazve kritickým zesílením K_{pk} . Soustava se rozkmitá netlumenými kmity. Následně na mezi stability je změřena perioda netlumených kmitů T_k . A konstanty regulátoru se určí podle tabulky 12. [15]

	K_p	T_i	T_d
P regulátor	$K_p = 0,5 * k_{rk}$	-	-
PI regulátor	$K_p = 0,45 * k_{rk}$	$T_i = 0,85 * T_k$	-
PD regulátor	doladí se na optimální hodnotu	-	$T_d = 0,12 * T_k$
PID regulátor	$K_p = 0,6 * k_{rk}$	$T_i = 0,5 * T_k$	$T_d = 0,12 * T_k$

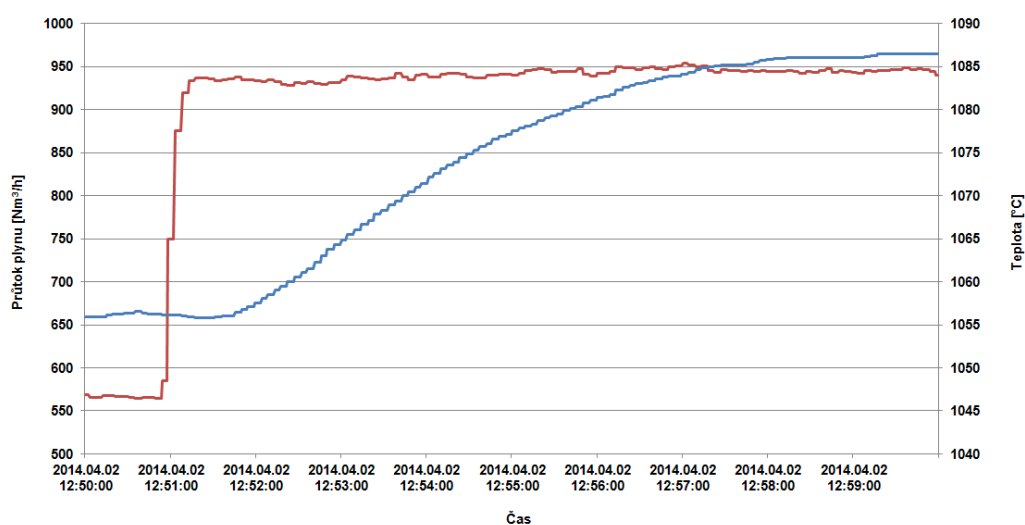
Tabulka 12: Tabulka pro určení konstant P, PI, PD a PID regulátoru.

U technologických celků, které nelze nebo není možné, přivést na mez stability, je možné použít metodu výpočtu podle přibližných vztahů pro K_{pk} a T_k . To vše za předpokladu, že je k dispozici naměřená přechodová charakteristika. K výpočtu kritického zesílení K_{pk} a periody kmitů T_k lze použít následující vztahy, kde T_u je doba průtahu a T_n doba náběhu. [16]

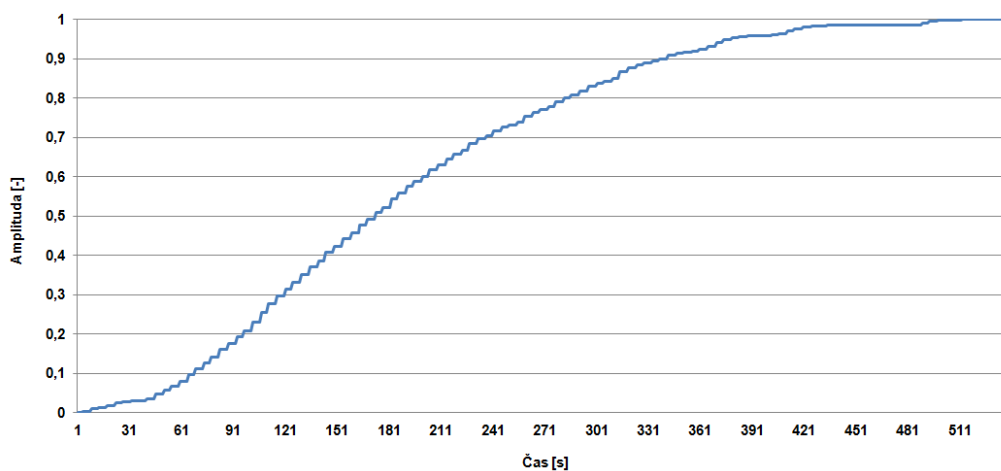
$$K_{pk} = \frac{\pi}{2} * \frac{T_n}{T_u} + 1$$

$$T_k = 4 * T_u$$

Obrázek 37 zobrazuje trend průtoku plynu a teploty v čase pro třetí vyrovnávací zónu. Průtok plynu do zóny byl dlouhou dobu ustálený na hodnotě přibližně 565 Nm³/h a teplota byla ustálená na hodnotě přibližně 1055 °C. Na průtoku plynu byla provedena skoková změna a průtok plynu do třetí vyrovnávací zóny byl zvýšen na hodnotu přibližně 940 Nm³/h. Teplota v zóně začala stoupat a ustálila se na hodnotě přibližně 1085 °C. Průběh zobrazený červenou barvou představuje průtok plynu do zóny, průběh zobrazený barvou modrou představuje teplotu v zóně.



Obrázek 37: Skoková změna průtoku plynu pro vyrovnávací zónu 3.

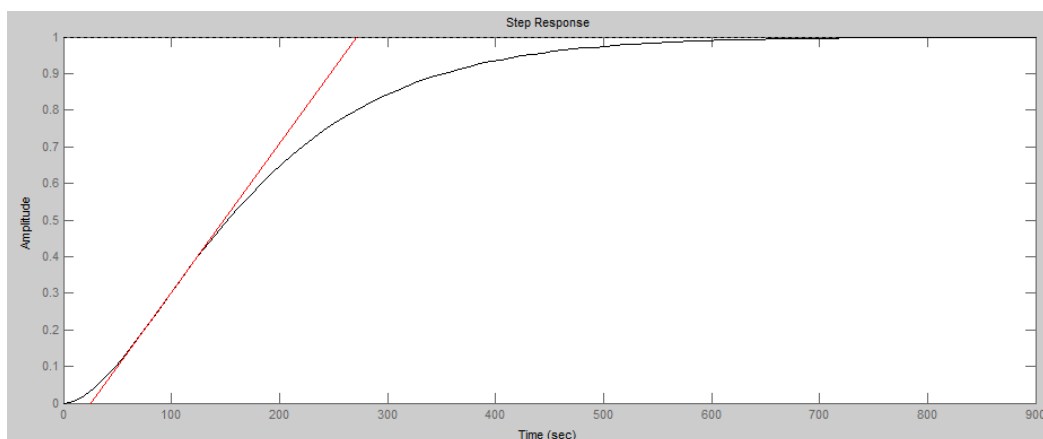


Obrázek 38: Normovaná přechodová charakteristika.

Z naměřené přechodové charakteristiky byla vytvořena normovaná přechodová charakteristika. Normovanou přechodovou charakteristiku zobrazuje obrázek 38. Pro získání přenosu soustavy druhého řádu z normované přechodové charakteristiky byl použit software Matlab a toolbox s názvem Ident. Získaný přenos soustavy (vyrovnávací zóny 3) je uveden níže.

$$G(s) = \frac{1}{(1 + 90,64 * s) * (1 + 90,84 * s)}$$

Na obrázku 39 je zobrazena přechodová charakteristika aproximované-ho přenosu soustavy. Ze získaného přenosu byla pak pomocí skriptu napsaného v softwaru Matlab získána doba náběhu a doba průtahu. Následně bylo spočteno kritické zesílení, pak i kritická perioda a další hodnoty. Vytvořený skript pro výpočet všech potřebných hodnot je k dispozici v příloze k této práci. Všechny důležité vypočtené hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 13.



Obrázek 39: Přechodová charakteristika aproximovaného přenosu soustavy.

Doba náběhu - T_n	246,21
Doba průtahu - T_u	25,59
Doba přechodu - T_p	271,81
Kritické zesílení - K_{pk}	16,10
Kritická perioda - T_k	102,38

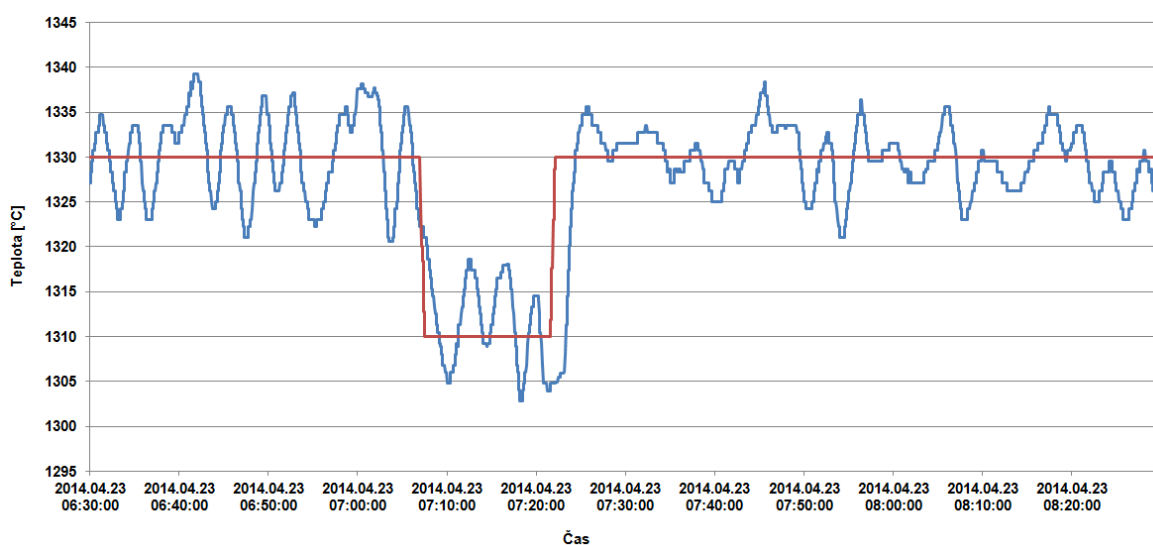
Tabulka 13: Vypočtené hodnoty.

U reálného řídicího systému byl v případě třetí vyrovnávací zóny použit PI regulátor (derivační konstanta T_d byla nastavena na nulu). V tabulce 14 jsou pro porovnání uvedeny reálně nastavené konstanty regulátoru a konstanty vypočtené pomocí Ziegler – Nicholsovy metody. Reálně nastavené a vypočtené konstanty se úplně přesně neshodují, rozdíly však nejsou nikterak zásadní.

	Nastavené konstanty	Vypočtené konstanty
K_p	12,06	7,24
T_i	9,80	11,72
T_d	0,00	0,00

Tabulka 14: Porovnání reálně nastavených a vypočtených konstant regulátoru.

Identifikace proběhla v době, kdy plynová ohřívací pec nebyla provozována na plný výkon z důvodu poruchy na válcovací trati. Plynová ohřívací pec má však za různých okolností, různé přenosy. Tato skutečnost může být kupříkladu příčinou rozdílu reálně nastavených a vypočtených konstant regulátoru pro třetí vyrovnávací zónu. V případě, že by měla být provedena úplná identifikace plynové ohřívací pece, muselo by být bráno v potaz více možností. Jednotlivé skoky na průtoku plynu do zón by musely být provedeny při různých teplotách. A také v případech, kdy je pec prázdná nebo naplněná materiálem (sochory). Důležitým faktorem je i typ a jakost materiálu. Poté vypočtené konstanty regulátorů v jednotlivých případech by tvořily určité sady. Tyto sady konstant regulátorů by se v řídicím systému PLC měnily v závislosti na aktuální situaci (nízká teplota v zóně, vysoká teplota v zóně, a podobně).



Obrázek 40: Reálný trend regulace teploty ve vyrovnávací zóně 3.

9. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a implementovat řídicí systém pro ohřívací plynovou pec, která slouží pro ohřev dlouhých výrobků (sochorů) před následným válcováním. Konkrétně plynová ohřívací pec, pro kterou byl vytvářen řídicí systém, je využívána pro ohřev sochorů, ze kterých se válcuje drát.

Po prvotním prostudování problematiky plynových ohřívacích pecí, jsem vytvořil z dostupných informací seznam vstupů a výstupů, ze kterého později vycházela definiční listina PLC, kde jsem definoval všechny objekty a následně také definiční listina MAIN, kde jsem definoval všechny UDT struktury. Po vytvoření obou definičních listin jsem postupně vytvářel PLC program i vizualizační aplikaci. Postupně tvořené části PLC programu a vizualizační aplikace jsem testoval společně se simulací.

Návrh regulace teploty v jednotlivých zónách pece byl postaven na vlečné a poměrové regulaci. Teplota v každé ze zón pece je tak regulována pomocí tří regulátorů. Kdy do prvního regulátoru vstupuje žádaná a skutečná teplota v zóně, výstupem tohoto regulátoru je pak žádaný průtok plynu do zóny. Druhý regulátor reguluje skutečný průtok plynu do zóny a třetí regulátor reguluje skutečný průtok vzduchu do zóny. Žádaný průtok vzduchu do zóny je dán součinem spalovacího poměru a skutečného průtoku plynu.

Při vytváření této práce jsem si detailněji osvojil programování programovatelných automatů a také vývojové prostředí Step 7 určené pro programování programovatelných automatů společnosti Siemens AG. Rovněž jsem si vyzkoušel možnosti komunikací, ať již přes sběrnici Profibus s frekvenčním měničem nebo přes síť Ethernet s aplikací teplotního modelu. Kromě programování PLC jsem měl možnost si osvojit vytváření vizualizační aplikace v softwaru Promotic. Kde jsem si mimo jiné vyzkoušel i programování skriptů v jazyce VBScript. V neposlední řadě jsem měl možnost si vyzkoušet také vytvoření simulační aplikace v softwaru WinMOD pro simulaci některých částí vytvořeného řídicího systému.

V průběhu této práce jsem získal mnohem větší rozhled o průmyslu, průmyslových řídicích systémech, různých technologiích a o samotném uvádění řídicích systémů do provozu. Také o nastavování a ladění regulací v průmyslu, kde ve většině případů je jen velmi málo času na identifikaci regulované soustavy nebo je regulovaná soustava natolik složitá, že by jen samotná identifikace zabrala až příliš mnoho času a úsilí. Přesto jsem se v závěru této práce o částečnou identifikaci pokusil. A pomocí Ziegler – Nicholsovy metody jsem se snažil alespoň přibližně zjistit konstanty regulátoru. Vypočtené konstanty se od těch reálně nastavených liší. Rozdíl může být dán nedokonalou identifikací soustavy. Jak již bylo napsáno, soustava má za různých okolností různý přenos. Identifikace soustavy (třetí vyrovnávací zóny) byla provedena v okamžiku, kdy byla celá plynová ohřívací pec odstavena z důvodu problémů na válcovací trati a bylo v ní pouze okolo 1050 °C. Ale i přesto se reálně nastavené konstanty regulátoru od těch vypočtených nikterak zásadně nelišily.

V průběhu uvádění do provozu jsem diskutoval připomínky a požadavky ze strany operátorů na úpravu ať již řídicího systému nebo vizualizační aplikace. Oprávněné a účelné požadavky byly následně zapracovávány do řídicího systému nebo vizualizační aplikace. V průběhu uvádění do provozu byl například doplněn mód optimální regulace tlaku spalovacího vzduchu. Tento druhý mód byl zaveden z důvodu větší úspory elektrické energie. Uvádění do provozu proběhlo bez větších komplikací a plynová ohřívací pec byla schopna provozu během přibližně dvou týdnů. Avšak další čas zabralo nastavování a ladění všech regulací a také zapracovávání všech požadavků a připomínek do řídicího systému a vizualizační aplikace.

Výsledné regulace teploty v jednotlivých zónách pece fungují s maximálním překmitem do 10 °C. Což je pro provoz plynové ohřívací pece dostačující výsledek. Na tuto práci navazuje další část rekonstrukce plynové ohřívací pece, a to návrh a implementace řídicího systému pro ovládání stabilizačních hořáků. Jedná se o další projekt firmy Ingeteam a. s.

Literatura

- [1] KOZIOREK, Jiří. *Programovatelné automaty a vizualizace řídicích systémů*. Ostrava, 2009.
- [2] Typy procesorů pro Siemens S7-300
URL: <<http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=ee5ad951ae>>
[cit. 2013-12-27].
- [3] Programovatelný automat Siemens S7-300
URL: <<http://www.hi-tech.com.au/site/DefaultSite/filesystem/images/products/s7-300/S7-300%20CPU.jpg>> [cit. 2013-12-29].
- [4] Technická specifikace PLC Siemens S7-300
URL: <http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Equipamiento/PLC/st70k3_e.pdf>
[cit. 2013-12-27].
- [5] Průmyslové ohřívací pece
URL: <<http://techstroj.g6.cz/S/S22.pdf>> [cit. 2014-03-13].
- [6] Způsoby přenosu tepla na vsázku
URL: <<http://www.tzb-info.cz/2039-plynove-spotrebice-iii>> [cit. 2014-03-13].
- [7] Vysokopeční plyn
URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vysokopecn%C3%AD_plyn> [cit. 2014-04-22].
- [8] Koksárenský plyn
URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Koks%C3%A1rensk%C3%BD_plyn>
[cit. 2014-04-22].
- [9] Zemní plyn
URL: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zemn%C3%AD_plyn> [cit. 2014-04-22].
- [10] Programovací jazyky pro programovatelné automaty
URL: <<http://coptel.coptkm.cz/?action=2&doc=3905&docGroup=179&cmd=0>>
[cit. 2013-12-29].
- [11] Programovací jazyky pro programovatelné automaty
URL: <<http://automatizace.hw.cz/programovaci-rezimy-pro-plc-dle-iec-611313-codesys>>
[cit. 2013-12-29].

- [12] TYŠER, Jaroslav. *Definiční listina*. Ostrava, 2014.
- [13] Komunikace s frekvenčním měničem ABB
URL: <<http://www.baldor.com/products/accontrols/Basic-Guide-PTO-LVD-PNTG06U-EN.pdf>> [cit. 2014-04-05].
- [14] Operátorský panel
URL: <https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl/zc/zc0ODQ5MQAA_1142799_HB/Op3_e.pdf> [cit. 2013-12-30].
- [15] ROUBAL, Jiří. HUŠEK, Petr. *Regulační technika v příkladech*. 1. vydání. Praha: BEN, 2011. 304 s. ISBN 978-80-7300-260-2.
- [16] SROVNAL, Vilém. *Regulační systémy*. Ostrava, 2005.

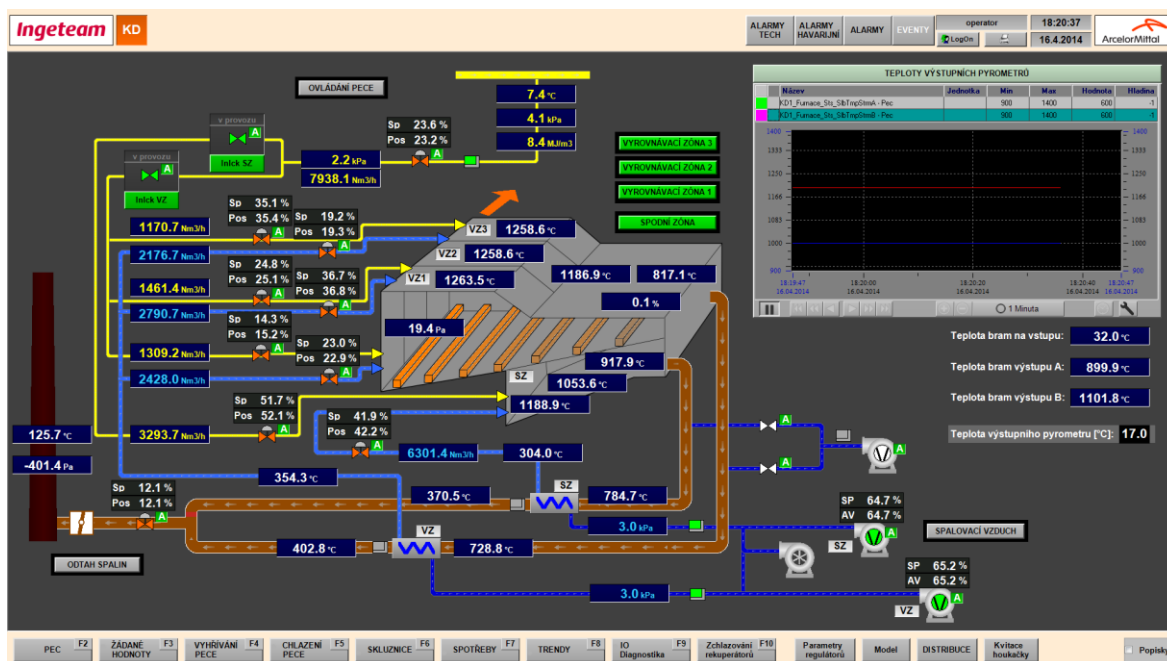
Seznam příloh

- I. Náhledy obrazovek vizualizační aplikace
- II. Skript pro výpočet konstant regulátoru v softwaru Matlab
- III. Seznam vstupů a výstupů – příloha na CD
- IV. Definiční listina DefList PLC – příloha na CD
- V. Definiční listina DefList MAIN – příloha na CD
- VI. Program PLC – příloha na CD

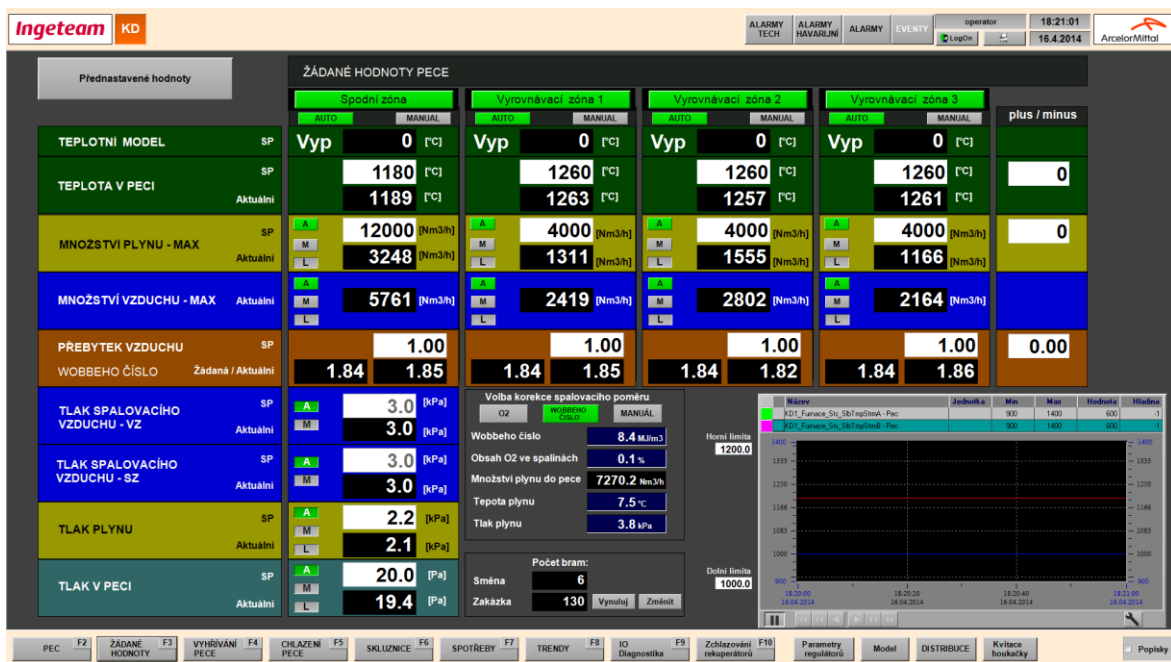
Příloha I. – Náhledy obrazovek vizualizační aplikace



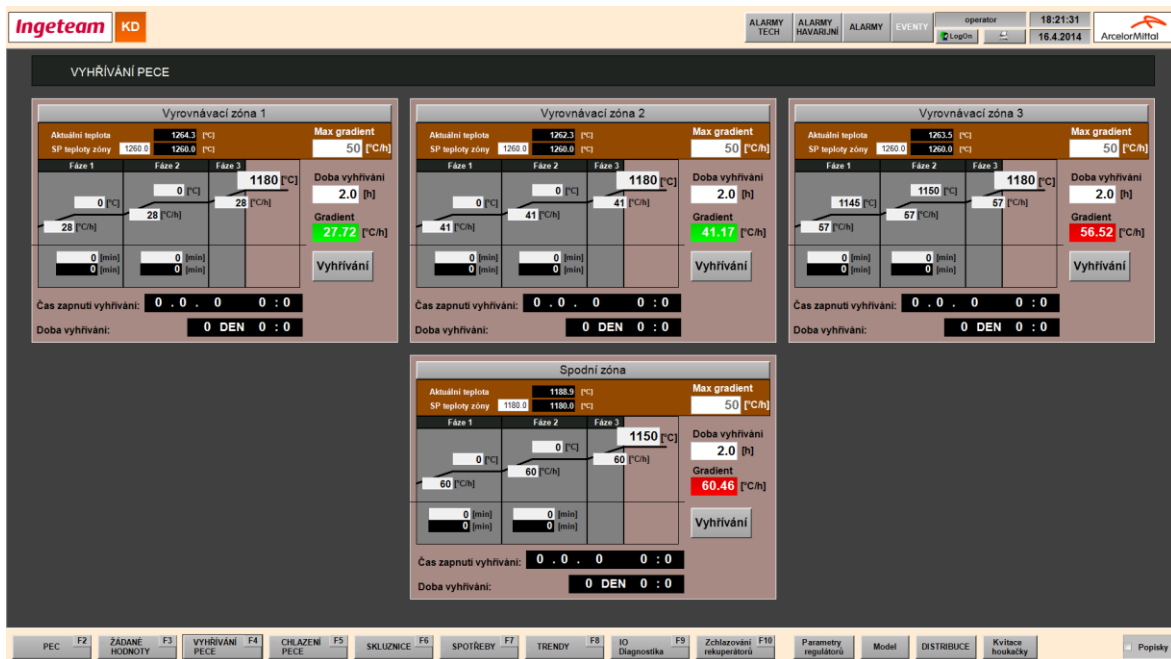
Úvodní obrazovka vizualizační aplikace.



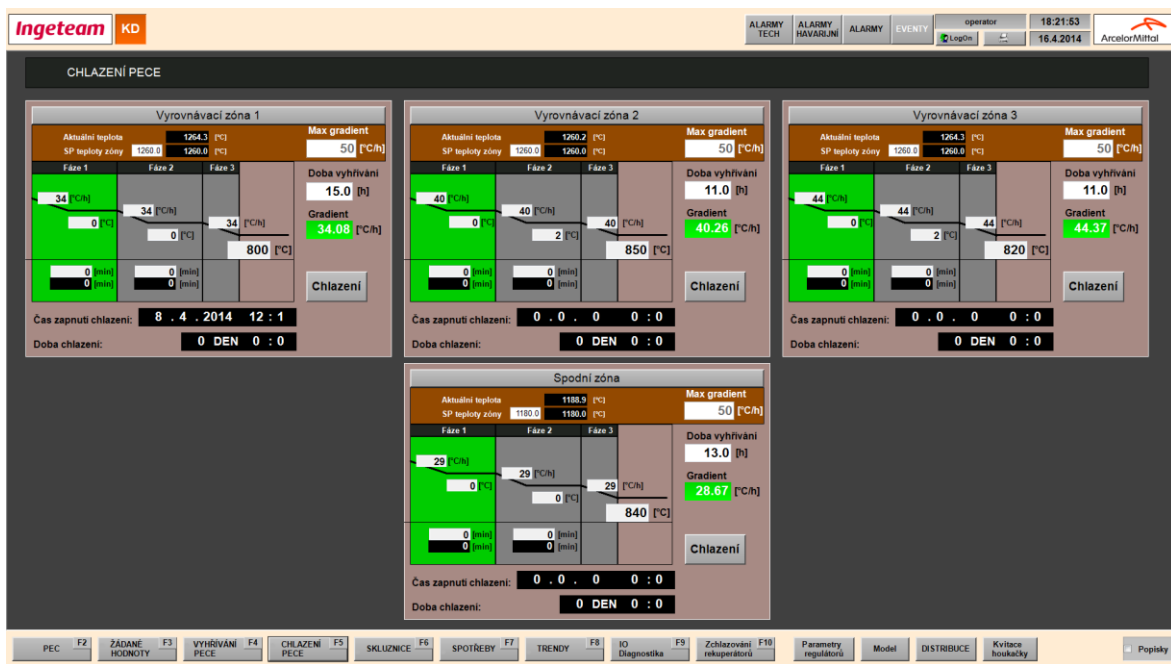
Přehledová obrazovka.



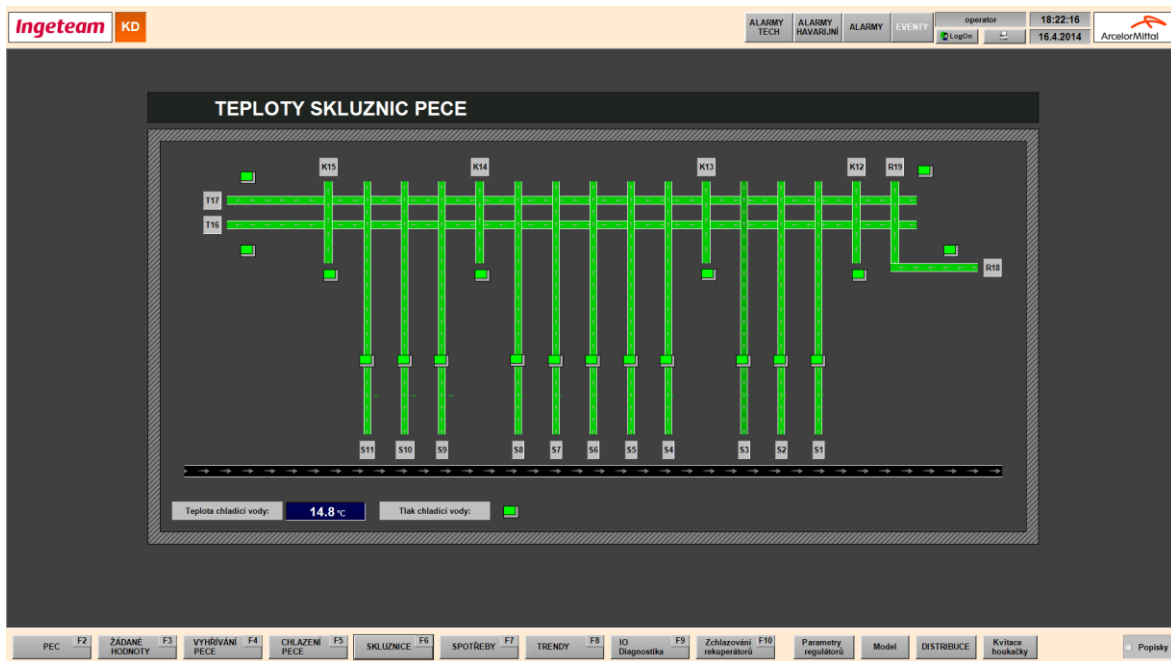
Obrazovka pro zadávání žádaných hodnot.



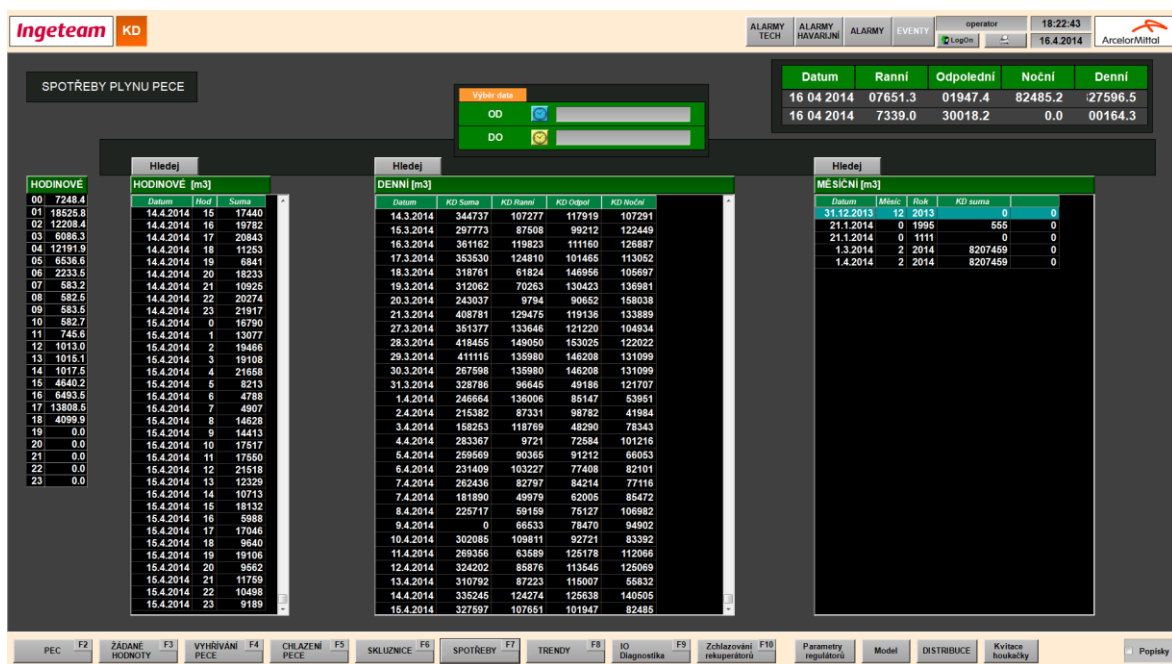
Obrazovka pro nastavení vyhřívání pece.



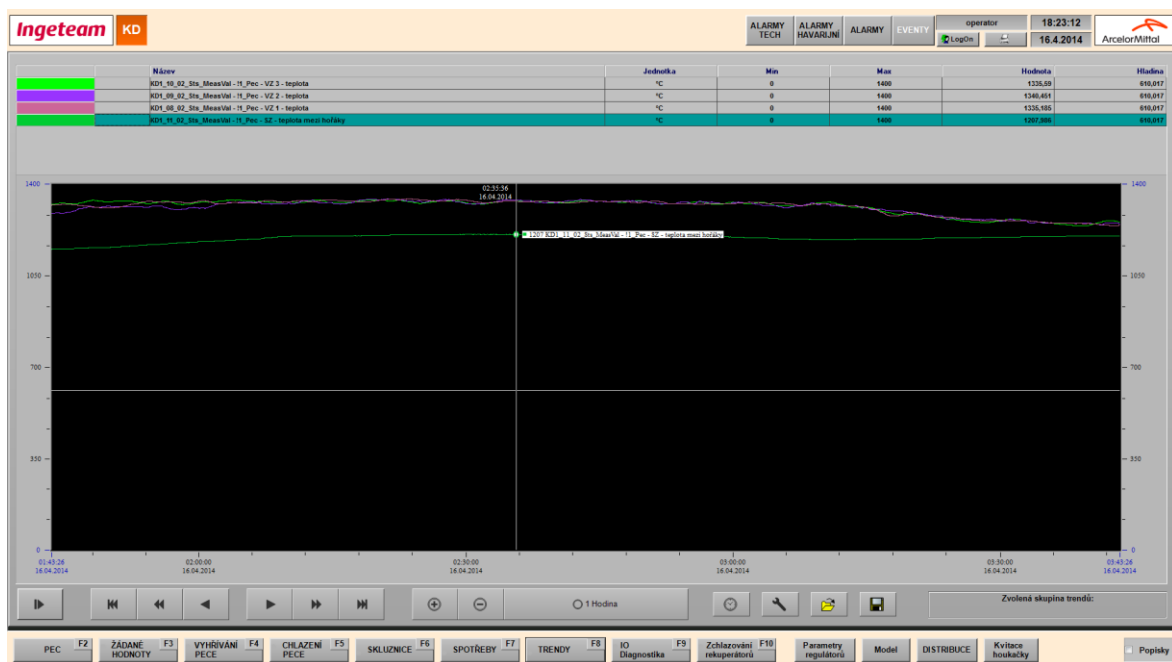
Obrazovka pro nastavení chlazení pece.

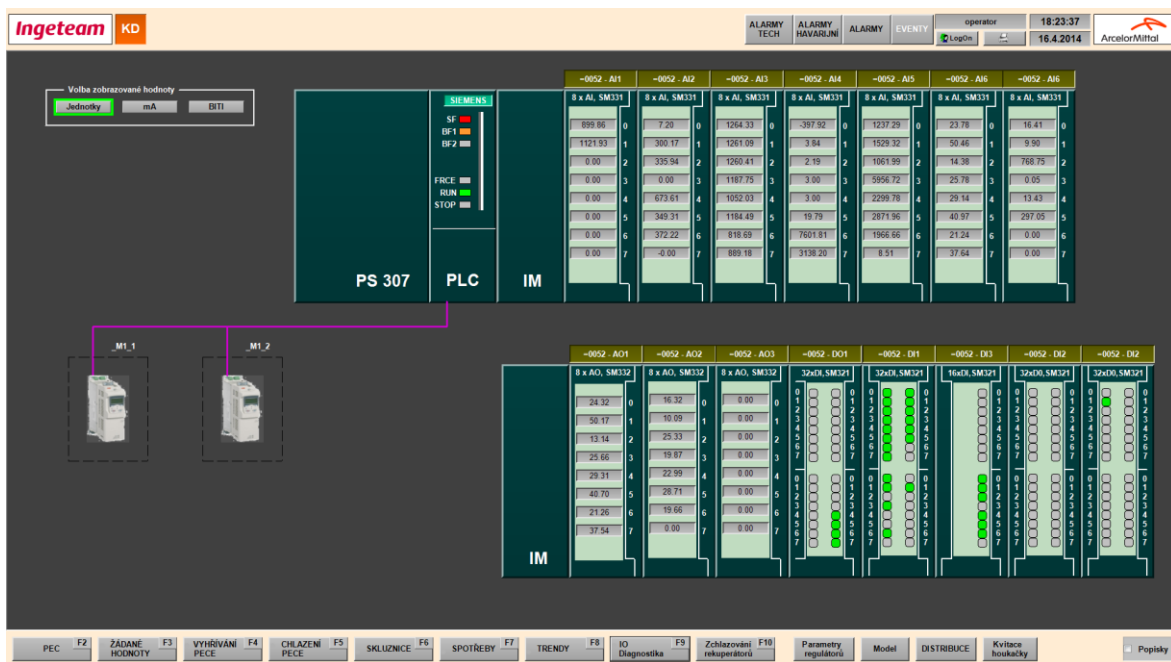


Obrazovka pro monitorování stavu skluznic.

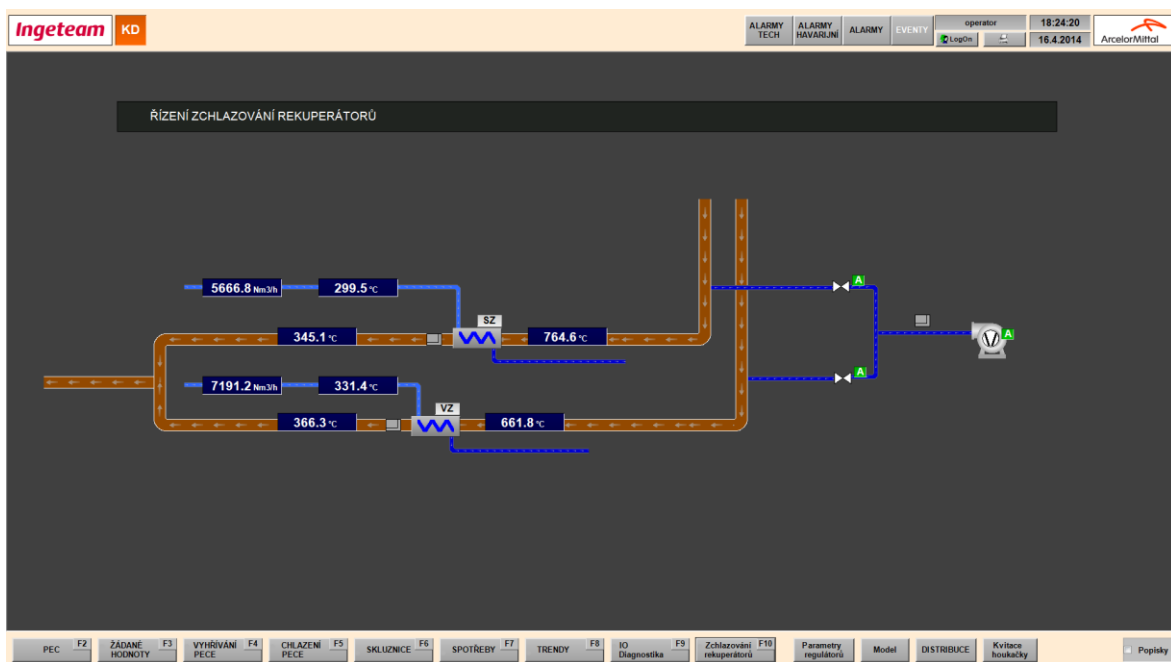


Obrazovka spotřeb plynu.





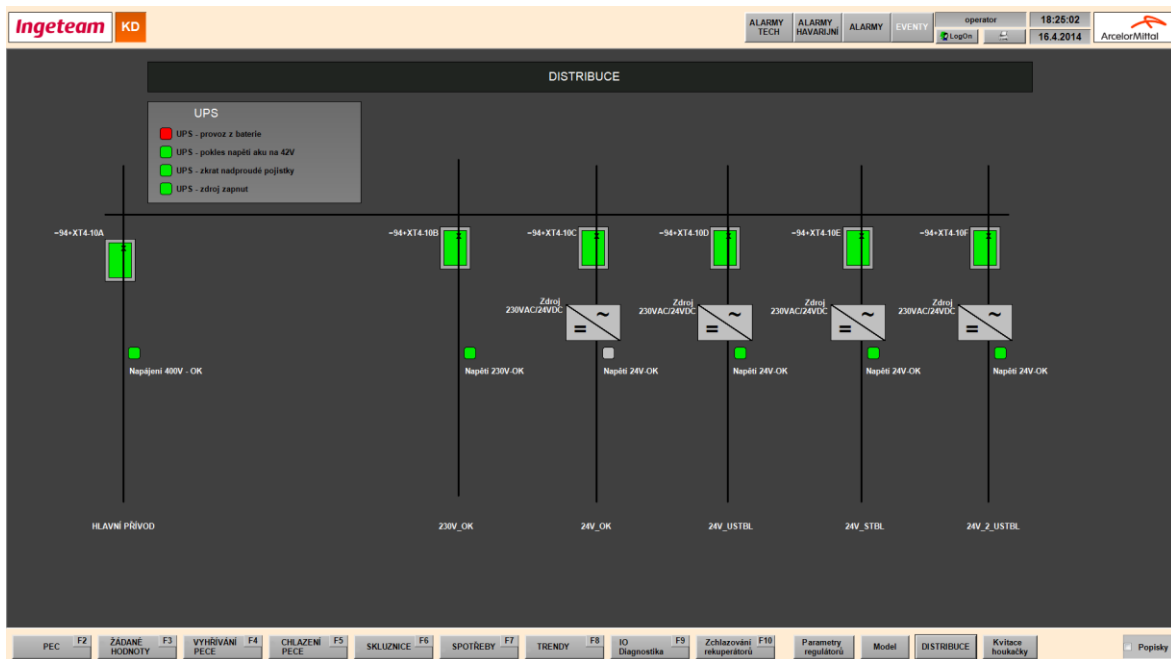
Obrázek obrazovky diagnostiky vstupů a výstupů.



Obrazovka zchlazování rekuperátorů.



Obrazovka pro nastavování konstant regulátorů.



Obrazovka distribuce.

Příloha II. – Skript pro výpočet konstant regulátoru v softwaru Matlab

```
close all
clear all
clc
syms s t;
cit=1; %definovani citatele prenosu
jmen=[8233 181 1]; %definovani jmenovatele prenosu
Gs=tf(cit,jmen); %prechodova charakteristika
step(Gs,'k');
H=1/(8233*s^3 + 181*s^2 + s); %zpetna laplaceova transformace
h=ilaplace(H); %vypocet prvni derivace
h1=diff(h); %vypocet druhe derivace
h2=diff(h1);
inflex=solve(h2);

%vypocet inflexniho bodu
k = eval(subs(h1,t,inflex)); %vypocet smernice tecny - k
y = eval(subs(h,t,inflex)); %vypocet hodnoty v inflexnim bode - y
q=eval(y-(inflex*k)); %vypočet q z rovnice tecny
hold on
Xosa=[-3:0.01:300];
Yosa=k*Xosa+q;
plot(Xosa,Yosa,'r'); %vykresleni tecny v inflexnim bode do
prechodove charakteristiky

Tu=-q/k; %vypocet doby prutahu - Tu
Tp=(1-q)/k; %vypocet doby prechodu - Tp
Tn=Tp-Tu; %vypocet doby nabehu - Tn
Kpk=(pi/2)*(Tn/Tu)+1; %vypocet kritickeho zesileni - Kpk
Tk=4*Tu; %vypocet kriticke periody - Tk

%vypocet konstant pro standardni prenos regulatoru
PID_Kp = 0.6*Kpk
PID_Ti = 0.5*Tk
PID_Td = 0.12*Tk
PI_Kp = 0.45*Kpk
PI_Ti = 0.83*Tk

%prepecet konstant na paralelni prenos regulatoru
par_PID_Kp = PID_Kp
par_PID_Ti = PID_Ti/PID_Kp
par_PID_Td = PID_Td*PID_Kp
par_PI_Kp = PI_Kp
par_PI_Ti = PI_Ti/PI_Kp
```